



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

Aplicación de Energías Renovables en pequeños
núcleos rurales

Renewable Energy application in small rural village

Autor/es

Ricardo Dueso Sampériz

Director/es

Juan Luis Villa Gazulla

Ingeniería Eléctrica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Universidad de Zaragoza

2021

RESUMEN

La producción de energía eléctrica y el transporte son los sectores causantes de la mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero, para paliar tales emisiones se opta por el autoconsumo y la movilidad eléctrica como alternativas idóneas para una transición ecológica. El estudio del actual TFG tiene como objetivo estudiar la implementación de una instalación de producción de energía renovable para autoconsumo dentro de un núcleo rural, así como la introducción de puntos de recarga para vehículos eléctricos. Para valorar su viabilidad se ha realizado un estudio técnico-económico de la implantación de una planta fotovoltaica junto con un parque eólico. Para ello se ha requerido de un análisis previo de las necesidades energéticas del municipio. Atendiendo a las condiciones meteorológicas y geográficas se ha dimensionado el parque eólico y la planta fotovoltaica. Seguidamente se ha llevado a cabo un análisis de la demanda de movilidad eléctrica en las carreteras principales del municipio. Y, finalmente se ha realizado un estudio energético y un estudio económico para comprobar la rentabilidad del proyecto y plantear otros posibles escenarios para mejorar dicha rentabilidad. Con todo ello, se puede afirmar que las instalaciones propuestas en este TFG alcanzan resultados viables para el municipio, otorgándole una independencia energética y una adecuada progresión hacia la transición ecológica en el mundo rural.

ABSTRACT

Electric energy production and transport are the main sectors involved in greenhouse gas emissions, therefore self-supply and electric mobility are the more suitable alternatives to cut down such emissions and to move towards an ecological transition. The main aim of this final project's survey is to study the implantation of renewable energy facilities in order to provide a self-supply to a rural area, as well as an electric car rechargable point. To evaluate its viability I have carried out a technical-economic study about a photovoltaic facility and a wind farm's implantation. In order to achieve that, a prior analysis about energetic needs has been required. Concerning weather and geographical conditions, the photovoltaic facility and the wind farm have been measured. Straightaway, an electric mobility analysis in the main town's roads has been conducted. Finally, in order to prove the project's profitability, and considering other possibilities to improve that profit, an energetic study has been done. Thus, it can be confirmed the profitability of the project's outcomes and the achievement of a suitable ecological transition in a rural area.

Índice

1.	Introducción	1
1.1	Generación Mundial y Nacional de energías renovables.....	2
1.2	Vehículo eléctrico y movilidad eléctrica	3
2.	Objetivos	4
3.	Desarrollo del proyecto	5
3.1	Estudio de las necesidades energéticas del municipio seleccionado	7
3.2	Dimensionamiento de las energías renovables.	8
3.2.1	Calculo de la energía fotovoltaica disponible.....	9
3.2.2	Regulador 4 DC/DC de 100 kW	15
3.2.3	Calculo de la energía eólica disponible	16
3.2.4	Selección del convertidor híbrido solar-eólica DC/AC para conexión a red 22	
3.3	Estudio del punto de recarga, necesidades energéticas, soluciones técnicas disponibles y almacenamiento energético.	24
3.3.1	Estudio de la Red de Carreteras y sus características en Javierre de Bielsa 24	
3.3.2	Tipos y selección de punto de recarga de vehículo eléctrico	26
3.3.3	Selección de baterías	28
3.3.4	Selección del convertidor 5 DC/AC	29
3.3.5	Estudio Energético.....	30
3.4	Posibilidad de Autoconsumo y Análisis Económico.	34
3.4.1	Autoconsumo.....	34
3.4.2	Autoconsumo en España	35
3.4.3	Análisis Económico	36
3.4.4	Posibles diferentes escenarios	42
4	Conclusión.....	48
5	Bibliografía.....	49

Índice de Figuras

Figura 1. Comparación de emisiones de CO ₂ mundiales anuales por sector [3].	1
Figura 2. Porcentaje de la generación de energía mundial por fuentes [7].	2
Figura 3. Generación por tecnología en España [8].	3
Figura 4. Esquema Instalación a diseñar.	6
Figura 5. Imagen aérea de Javierre de Bielsa y emplazamiento de instalaciones.	7
Figura 6. Energía FV mensual disponible por cada kWp de potencia instalada [15].	9
Figura 7. Comparación Energía FV mensual disponible por cada kWp de potencia instalada según tipo de montaje [15].	10
Figura 8: Seguidor solar seleccionado “DEGER D80” [17].	12
Figura 9. Modulo Solar JAM72s20-455/MR [18].	12
Figura 10. Energía Fotovoltaica generada [kWh].	14
Figura 11. Esquema conexionado placas fotovoltaicas.	15
Figura 12. Esquema conexión regulador DC/DC	15
Figura 13. Convertidor DC/DC GWSHF650/650-100kW [20]	16
Figura 14. Herramienta para obtener datos meteorológicos [21].	16
Figura 15. Rosa de los vientos en ubicación parque eólico.	18
Figura 16. Horas que sopla el viento en un rango de velocidad a lo largo del año.	19
Figura 17. Función de Weibull.	19
Figura 18. Datos técnicos aerogenerador Enair E200 [24].	21
Figura 19. Energía eólica generada [kWh].	22
Figura 20. Esquema conexión convertidor hibrido solar-eólica DC/AC	23
Figura 21. Inversor Huawei Sun2000-185KTL-H1 [25].	23
Figura 22. Inversor Huawei SUN2000-20KTL-M0 [26].	24
Figura 23. Red Carreteras de Aragón y leyenda IMD [27].	24
Figura 24. Datos carreteras A-2611 y A-138 [27].	25
Figura 25. Localización puntos de recarga de vehículos eléctricos. Electromaps [30].	26
Figura 26. Puntos de recarga de vehículo eléctrico seleccionados [33].	28
Figura 27. Características Batería EBick 180 [35].	29
Figura 28. Datos técnicos convertidor DC/AC 100TL [36].	30
Figura 29. Comparación entre generación y consumo del municipio.	31
Figura 30. Comparación entre tipos de energía generada y consumo del municipio.	31
Figura 31. Comparación entre generación, consumo y energía en la batería.	32
Figura 32. Comparación entre energía en batería y utilización de los puntos de recarga.	33
Figura 33. Tarifa 2.0DHS [42].	36
Figura 34. Inversión Inicial y PAYBACK diferentes escenarios.	47
Figura 35. TIR Y VAN diferentes escenarios.	47
Figura 36. LCOE diferentes escenarios.	47

Índice de Tablas

Tabla 1: Potencia Contratada en el municipio [13].	8
Tabla 2: Inclinación Óptima (β_{opt}) a lo largo del año en Javierre de Bielsa [16].	10
Tabla 3: Energía Fotovoltaica generada por el parque solar.	14
Tabla 4: Valor de α para diferentes terrenos [23].	17
Tabla 5: Rango de velocidad del viento y frecuencias.	18
Tabla 6: Energía suministrada por aerogenerador 5kW.	20
Tabla 7: Energía suministrada por aerogenerador 20kW.	21
Tabla 8: Energía Eólica generada por el parque eólico.	22
Tabla 9: Resumen tipos de puntos de recarga de vehículo eléctrico.	27
Tabla 10: Energía Generada y Energía Consumida por Municipio.	30
Tabla 11: Coste Total del balance de energía Municipio – Red.	37
Tabla 12: Resumen inversión a realizar.	39
Tabla 13: Costes de Mantenimiento.	40
Tabla 14: Resultados Rentabilidad.	42
Tabla 15: Energía generada con y sin parque eólico en el municipio.	43
Tabla 16: Resultados Rentabilidad sin parque eólico.	43
Tabla 17: Energía generada dependiendo del número de placas solares.	44
Tabla 18: Resultados rentabilidad reduciendo número de placas.	44
Tabla 19: Energía generada con y sin seguidor solar.	45
Tabla 20: Resultados rentabilidad sin seguidores solares.	45
Tabla 21: Coste total balance energético sin compensación de la compañía.	46
Tabla 22: Coste total balance energético con compensación de la compañía.	46
Tabla 23: Resultados rentabilidad con compensación de la compañía.	46

1. Introducción

En 2015 se estableció un marco para evitar el cambio climático a nivel global, este acuerdo se le denominó “El Acuerdo de París”. El principal objetivo es limitar el calentamiento global, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, para así evitar un aumento de la temperatura global por encima de 2°C [1].

La Unión Europea presentó en 2019 el Pacto Verde Europeo, donde se planteaba una estrategia para lograr la neutralidad climática para 2050, reduciendo las emisiones un 40% para 2030 [2].

Los principales sectores que emitieron más gases de efecto invernadero en 2017 en Europa fueron, en primer lugar la producción de energía eléctrica, en segundo lugar, la industria y en tercer lugar el transporte [3] (Fig1).

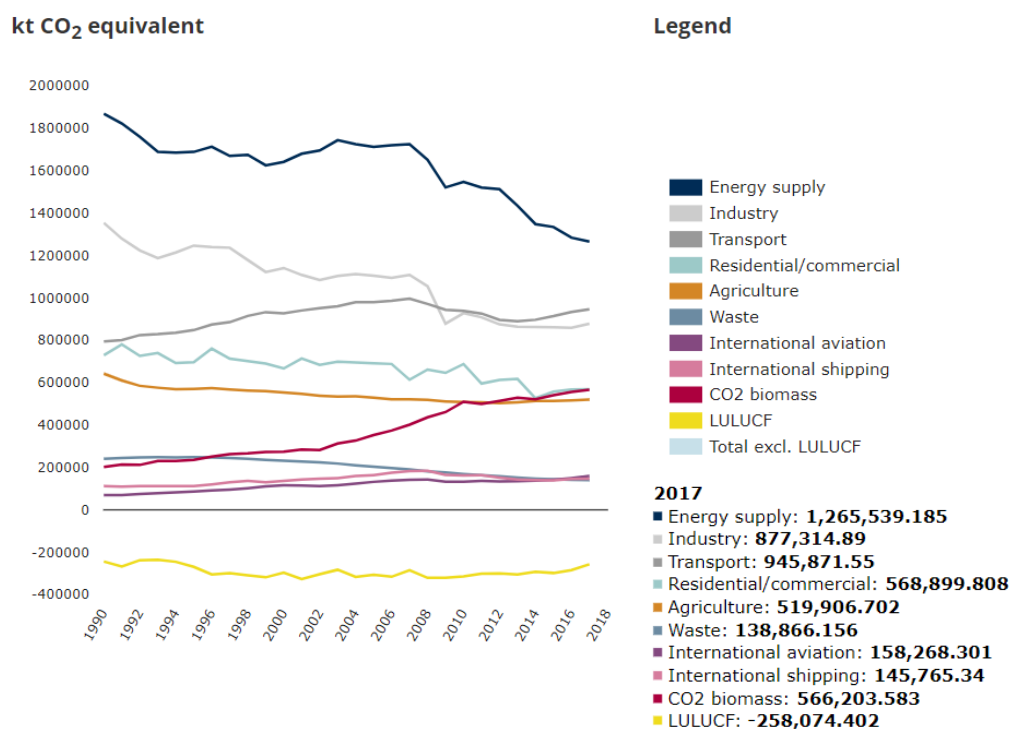


Figura 1. Comparación de emisiones de CO₂ mundiales anuales por sector [3].

Para lograr el objetivo de reducir las emisiones, Europa y España han optado por apostar por las Energías Renovables, y descarbonizar la producción de energía eléctrica [4], [5]. También están invirtiendo esfuerzos en introducir el vehículo eléctrico dentro del parque de vehículos del continente [6].

1.1 Generación Mundial y Nacional de energías renovables

La apuesta por las energías renovables gracias al agotamiento de los recursos fósiles y la reducción de costes de la tecnología renovable, ha impulsado su crecimiento, y modificado el mapa de producción mundial.

Desde los años 80 hasta el 2020 la energía renovable ha aumentado su producción desde apenas un 2% hasta un 10% [7] y con una expectativa alcista; cabe mencionar que la hidroeléctrica ha caído un 4%. En consecuencia las energías no renovables tienden a descender a consecuencia del crecimiento de las renovables, como se puede observar en la figura 2.

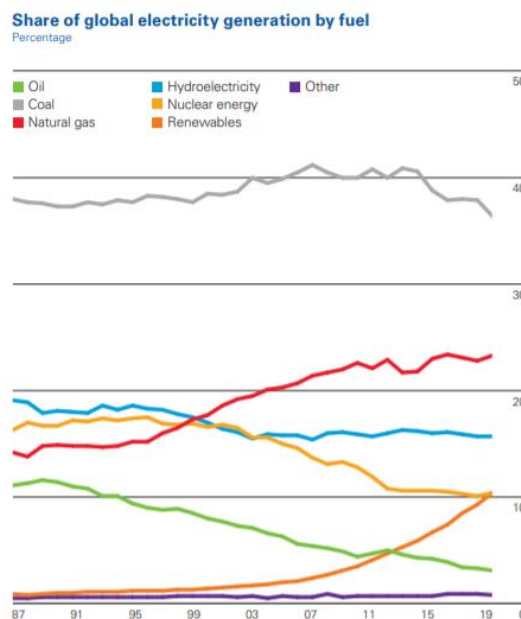


Figura 2. Porcentaje de la generación de energía mundial por fuentes [7].

España es uno de los países de Europa que por su situación geográfica tiene un potencial para generar con energías renovables es casi ilimitado. En el año 2019 genero 261.82 Gwh de los cuales el 37% aproximadamente fueron generados con tecnologías renovables [8].

ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN POR TECNOLOGÍAS (%) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional

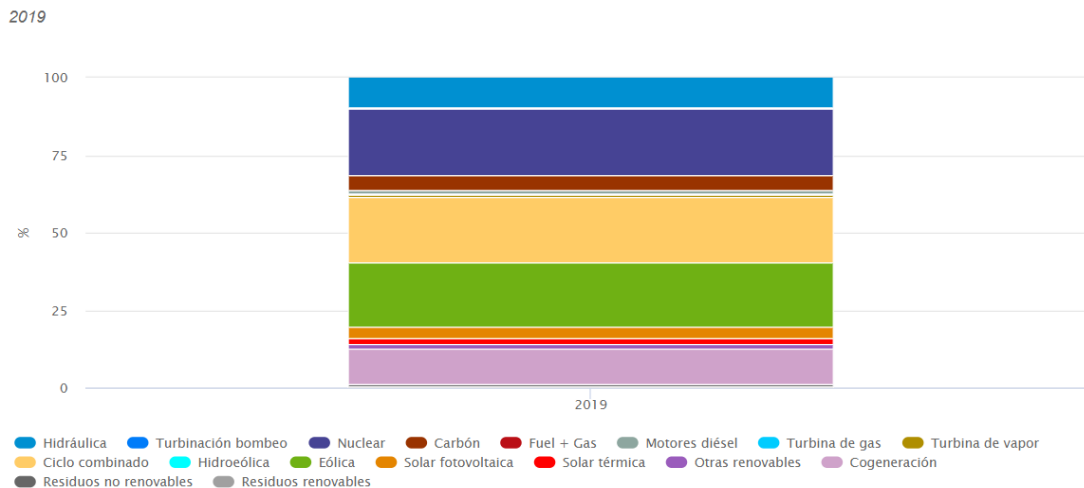


Figura 3. Generación por tecnología en España [8].

1.2 Vehículo eléctrico y movilidad eléctrica

El tercer causante de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial es el sector del transporte con un 16.1% de las emisiones totales, y dentro del sector, el transporte rodado representa el 11.9% [9], mientras que en España, esta es la principal fuente generadora de gases de efecto invernadero con un 29% total de la emisiones, dentro de este el transporte rodado representa un 26.8% del total [10].

A causa de estos datos, el gobierno de España y el Ministerio de Transición Ecológica han apostado fuertemente por el integración del vehículo eléctrico dentro del parque automovilismo de este país, por ejemplo con la creación del “Programa de incentivos a la movilidad eficiente y sostenible(MOVES)”[11], dando ayudas económicas para la adquisición de vehículos eléctricos.

Dentro de los vehículos eléctricos existen varios tipos, vehículos eléctricos a baterías (BEV), vehículo eléctrico de pila de hidrogeno (FCEV), vehículo eléctrico de autonomía extendida (EREV), vehículo híbrido enchufable (PHEV) y el vehículo híbrido no enchufable (HEV).

Todos salvo el híbrido no enchufable presentan una gran limitación, que son las baterías y el almacenamiento de la energía eléctrica, lo que limita mucho el rango de kilómetros que pueden efectuar, además a día de hoy los puntos de recarga a nivel nacional son muy escasos y centrados en las grandes ciudades.

2. Objetivos

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es estudiar, diseñar y analizar la viabilidad técnica y económica de la implantación de un modelo de producción de energía eléctrica en pequeños núcleos rurales de la Comunidad Autónoma de Aragón con energías renovables. En concreto, se analizarán las posibilidades técnicas de generación renovable para el autoconsumo de la población elegida, la instalación de un punto de recarga de vehículos eléctricos y la posible obtención de beneficios económicos vertiendo la energía sobrante a la Red Eléctrica estatal.

Este estudio, se va a centrar en las inversiones a realizar en la población de Javierre de Bielsa, pequeño núcleo rural, dentro del Municipio de Bielsa (Huesca) a las puertas del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Sector Pineta).

El estudio técnico se basa en la instalación de una planta fotovoltaica y de un aerogenerador para abastecer de energía eléctrica al pueblo y cargar una serie de baterías para cuando la energía renovable no esté disponible. Asimismo, se desea instalar un punto de recarga para vehículos eléctricos alimentado con la energía disponible de las renovables y las baterías.

El estudio económico analizará la inversión necesaria y los ingresos obtenidos, mediante los índices VAN y TIR y por el LCOE, más específico para analizar la rentabilidad de una instalación con energías renovables, tanto por el ahorro en la factura eléctrica, como por los ingresos recibidos del cargador de vehículo eléctrico y por último, por los posibles beneficios de la venta a red del sobrante de energía. Se analizarán distintos escenarios de recuperación de la inversión.

El estudio de instalación de un punto de recarga de VE es otro de los objetivos del proyecto, ya que en el mundo rural el vehículo eléctrico está lejos de su total implantación, ya que prácticamente no hay puntos de recarga, y los desplazamientos en este ámbito son largos y la autonomía del vehículo es limitada. Debido a esto es interesante estudiar la rentabilidad de disponer de puntos de recarga en los núcleos rurales. Además, en zonas donde la afluencia de personas es mayor debido al turismo, es aún más interesante, si cabe, disponer de estos puntos de recarga.

Con este proyecto se pretende obtener tanto un ahorro económico para los vecinos del núcleo rural, como potenciar la imagen exterior del municipio de puertas a la transición ecológica, sirviendo como ejemplo para otros núcleos rurales.

3. Desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto va a consistir en:

- Hacer un estudio para ver las necesidades energéticas del pueblo.
- Dimensionamiento de la planta fotovoltaica y del parque eólico de acuerdo a las condiciones climáticas y disponibilidad de espacio.
- Estudio de las necesidades energéticas de recargas de VE presentes y futuras de para la colocación de puntos de recarga.
- Determinación del tamaño adecuado de baterías para suministrar energía a los puntos de recarga.
- Estudio económico de rentabilidad de la inversión y la posibilidad del autoconsumo.

La instalación propuesta, dispondrá de una planta fotovoltaica, para transformar el recurso solar en energía eléctrica y un parque eólico, para transformar en energía eléctrica la fuerza del viento. La energía obtenida de nuestro parque generador se utilizará para abastecer el municipio y cargar un sistema de baterías que servirán de apoyo a la recarga de vehículos eléctricos. La energía sobrante será vertida a red o en caso de que nuestro parque generador no sea capaz de generar la energía para abastecer al municipio será comprada a la red.

Para ello se plantea diseñar una instalación siguiendo el esquema de la figura:

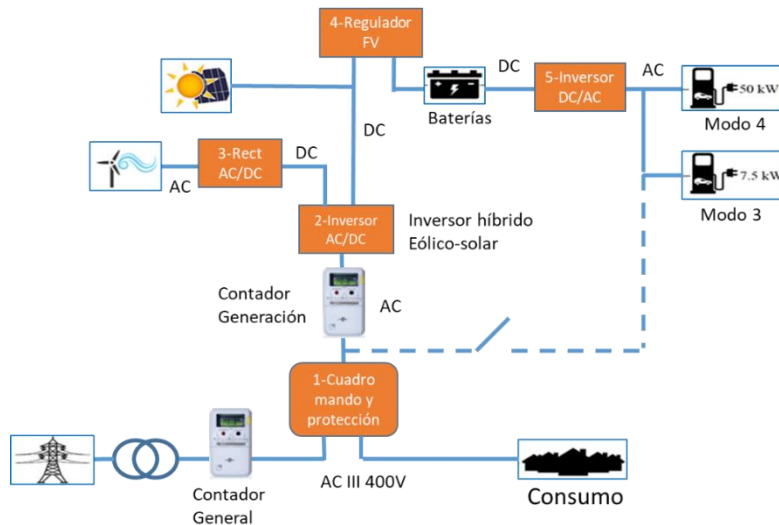


Figura 4. Esquema Instalación a diseñar.

El consumo urbano se alimentará directamente en CA trifásica, mientras que el resto de componentes de la red se conectarán a un bus de continua de 700 V.

Se deberá instalar un contador a la salida del transformador de red para la facturación final a la compañía eléctrica y un contador de generación. Los distintos elementos que conforman la micro red son:

- 1: Cuadro general de mando y protecciones
- 2: Inversor híbrido solar-eólico bidireccional que une la red interna DC con la red de consumo en CA
- 3: Rectificador AC/DC unidireccional que rectifica la AC trifásica del generador eólico en continua
- 4: Regulador de fotovoltaica que controla la carga de las baterías automáticamente para mantenerlas siempre cargadas y desconectarlas cuando estén cargadas
- 5: Inversor DC/AC unidireccional para alimentar en alterna los dos cargadores comerciales teniendo en cuenta que no hay actualmente cargadores comerciales que se alimenten en continua

El balance energético entre los distintos elementos se autorregula para mantener la tensión de bus en 700 V, de tal forma que cuando no hay producción de energía, toda será consumida de la red, y cuando haya producción, los convertidores regularán

adecuadamente para mantener los 700 V. Al final se producirá un balance neto de energía en la red que será medido por el contador general de la instalación.

Los cargadores de VE se alimentan directamente de las baterías, de tal forma que solo podrán utilizarse mientras la capacidad de estas esté por encima del 20 %. Se ha diseñado así para que la energía de los cargadores no le cueste dinero al municipio y solo sean ingresos.

En caso de que la producción renovable no pueda cargar las baterías, no se podrán utilizar los cargadores, aunque esta situación, como se verá más adelante, y con el uso actual previsto, no se va a dar. En caso de que el incremento del parque de VE aumente en el futuro, los cargadores se podrían alimentar directamente de la red, tal y como se observa con la línea de puntos en la figura 4.

3.1 Estudio de las necesidades energéticas del municipio seleccionado

Javierre de Bielsa es el pueblo seleccionado para ser el objeto de estudio para realizar la instalación de renovables y colocación del punto de recarga vehículo eléctrico dentro del municipio de Bielsa. En la figura se muestran los posibles emplazamientos de la planta fotovoltaica, y el parque eólico, y las carreteras que comunican el pueblo.

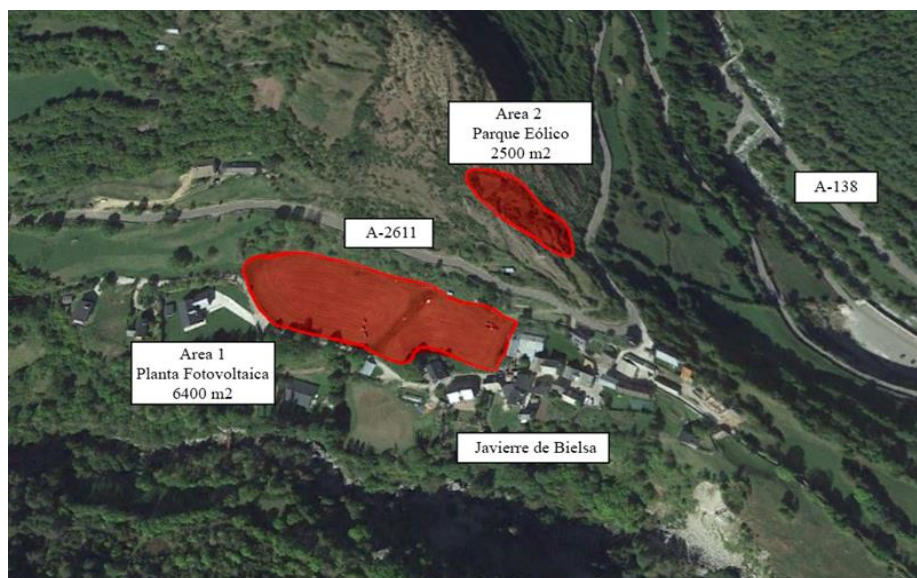


Figura 5. Imagen aérea de Javierre de Bielsa y emplazamiento de instalaciones.

Para realizar el dimensionamiento de las plantas de renovables es necesario saber la potencia que necesitaremos generar para cubrir la demanda de energía de los vecinos, para obtener estos datos se ha solicitado a los vecinos la potencia contratada que tienen

con su compañía eléctrica para así calcular la potencia total que deberemos generar (ver tabla 1).

El pueblo lo componen 14 Viviendas, con una potencia monofásica contratada de 5.75kW y 6.9kW. 4 Viviendas de uso turístico, cuya potencia monofásica contratada es menor, 4.6 kW; 3 granjas, donde se dedican a la explotación ganadera de vacuno y ovino con una potencia trifásica contratada de 5.196kW y 6.928kW respectivamente; la iglesia con un potencia contratada de 4.6 kW y el alumbrado público se ha dimensionado según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) donde cada punto de luz de alumbrado exterior consume 156W [12], y el pueblo tiene 20 puntos de alumbrado exterior.

Además se ha seleccionado dos tipos de punto de recarga de vehículo eléctrico con unas potencia de 7.4kW y 50kW que se explicaran en el apartado 3.3.2.

Finalmente, en la siguiente tabla se muestra un resumen de la potencia total contrata por el municipio [13].

Tabla 1: Potencia Contratada en el municipio [13].

CONSUMOS					
Abonado		Potencia Contratada	Abonado		Potencia Contratada
nº1	Vivienda	5,75 kW	nº14	Vivienda Turística	4,6 kW
nº2	Vivienda	5,75 kW	nº15	Vivienda Turística	4,6 kW
nº3	Vivienda	5,75 kW	nº16	Vivienda Turística	4,6 kW
nº4	Vivienda	5,75 kW	nº17	Vivienda	5,75 kW
nº5	Vivienda	5,75 kW	nº18	Vivienda	5,75 kW
nº6	Vivienda	5,75 kW	nº19	Alumbrado Público	3,12 kW
nº7	Vivienda	5,75 kW	nº20	Iglesia	4,6 kW
nº8	Vivienda	5,75 kW	nº21	Granja	5,196 kW
nº9	Vivienda	5,75 kW	nº22	Granja	6,928 kW
nº10	Vivienda	5,75 kW	nº23	Granja	6,928 kW
nº11	Vivienda	6,9 kW	nº24	Punto de Recarga	50 kW
nº12	Vivienda	6,9 kW	nº25	Punto de Recarga	7,5 kW
nº13	Vivienda Turística	4,6 kW	Potencia Total		185,472 kW

3.2 Dimensionamiento de las energías renovables.

Las Energías Renovables son fuentes de energía limpia, inagotable y crecientemente competitivas, estas características las diferencian de las no renovables, que son aquellas cuyas reservas son limitadas y en consecuencia disminuyen a nivel que se consumen.

Dentro de las energías renovables encontramos diferentes tipos [14].

- Energía eólica
- Energía solar fotovoltaica

- Energía solar térmica
- Energía hidráulica
- Biomasa y biogás
- Energía geotérmica
- Energía mareomotriz
- Energía olamotriz

En este trabajo vamos a centrarnos en la Solar Fotovoltaica y en la Energía Eólica.

3.2.1 Cálculo de la energía fotovoltaica disponible

Para el cálculo de la potencia fotovoltaica disponible se necesita conocer dos datos claves, que son la irradiancia solar y la temperatura en las coordenadas geográficas donde deseamos instalar nuestro parque solar fotovoltaico.

Estos datos se obtienen de la PGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [15], desde su base de datos PVGIS; de allí descargamos la irradiancia solar y la temperatura media por horas a los largo de todo un año en Javierre de Bielsa. En este atlas la irradiancia y la temperatura están otorgados para un azimut (α) de 0° (paneles orientados al Sur) y la inclinación (β) respecto al eje horizontal de la tierra de 0° .

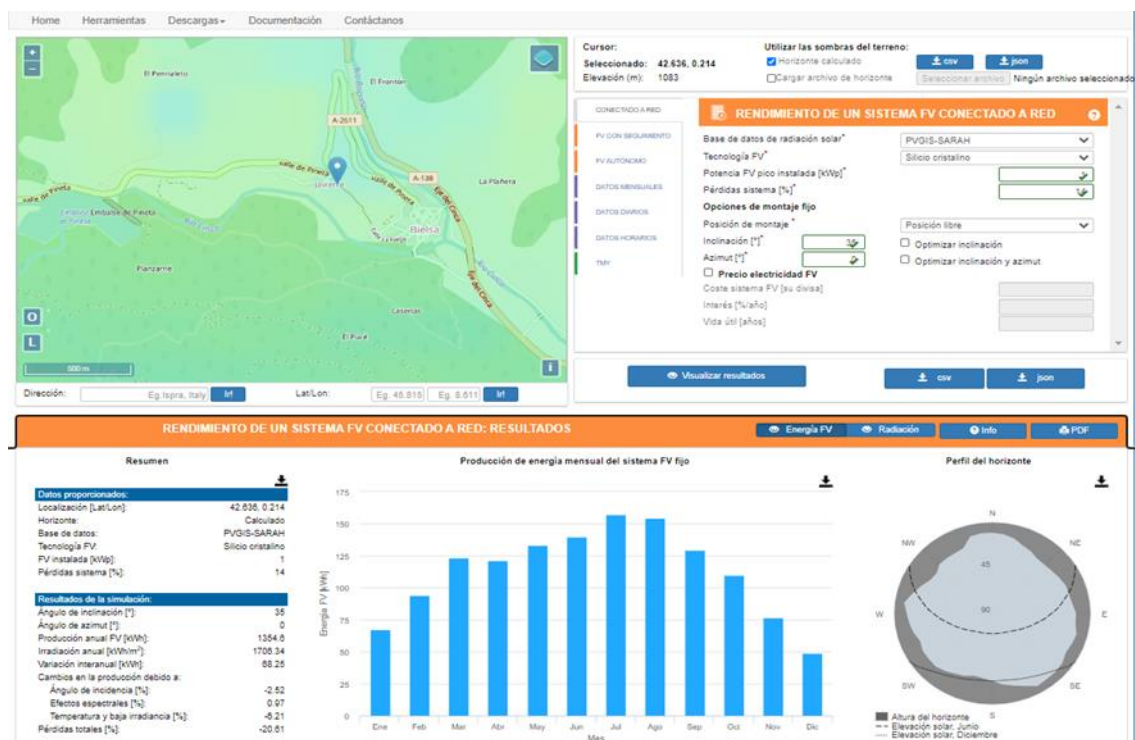


Figura 6. Energía FV mensual disponible por cada kWp de potencia instalada [15]

Debido a la comparación de la figura (fig.7) podemos afirmar que se obtendrá mayor energía si montamos los paneles sobre seguidores solares, aunque habrá que analizar la rentabilidad de colocar seguidores solares o no.

Para el primer escenario los paneles solares se montarán sobre seguidores solares de dos ejes para conseguir la mayor captación de irradiancia y por lo tanto mayor energía. En el apartado 3.4.4 se compara entre los diferentes escenarios a nivel energético y económico.

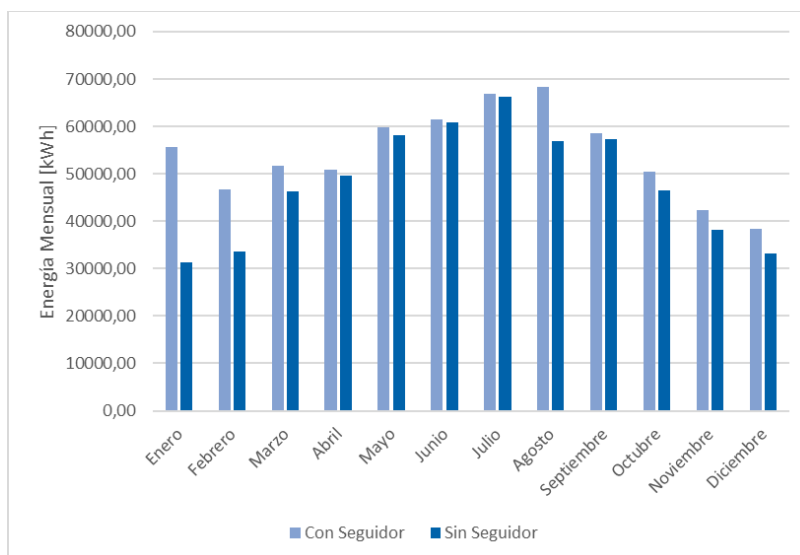


Figura 7. Comparación Energía FV mensual disponible por cada kWp de potencia instalada según tipo de montaje [15].

Para calcular la inclinación óptima (β_{opt}) se sigue las fórmulas que se muestran en la siguiente tabla, donde para cada mes se requiere de una inclinación óptima diferente, ya que el sol a lo largo del año cambia de posición en función de la latitud (ϕ) donde se coloca el parque solar, que en nuestro caso es 42.63° .

Tabla 2: Inclinación Óptima (β_{opt}) a lo largo del año en Javierre de Bielsa [16].

Mes	β_{opt}	$\beta_{opt} (^\circ)$
Enero	$0,89\phi+29$	66,94
Febrero	$0,97\phi+17$	58,35
Marzo	$\phi+4$	46,63
Abril	$\phi-10$	32,63
Mayo	$0,93\phi-24$	15,65
Junio	$0,87\phi-34$	3,09
Julio	$0,89\phi-30$	7,94
Agosto	$0,97\phi-17$	24,35
Septiembre	$\phi-2$	40,63
Octubre	$\phi+12$	54,63
Noviembre	$0,93\phi+25$	64,65
Diciembre	$0,87\phi+34$	71,09

A continuación debemos calcular la nueva irradiancia para la inclinación óptima anteriormente calculada, gracias a la siguiente formula obtendremos el nuevo valor de irradiancia:

$$G(\beta_{opt}) = \frac{G_y(0)}{1 - 4.46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{opt} - 1.19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{opt}^2}$$

Donde:

- $G_y(0)$: Irradiancia proporcionada por el atlas solar para una inclinación de $\beta = 0^\circ$
- β_{opt} : Inclinación óptima calculada en la Tabla 2.

Seguidamente debemos calcular la potencia nominal de la instalación, para ello debemos conocer el número de módulos fotovoltaicos que podemos instalar y la potencia máxima que genera cada módulo.

El número de módulos fotovoltaicos dependerá del tamaño del recinto donde se colocaran los seguidores solares, en nuestro caso este recinto tiene 6400 m², aunque no toda la superficie puede ser utilizada, ya que hay que evitar que unos seguidores provoquen sombras sobre otros.

La distancia mínima de un seguidor a otro se calcula gracias a la siguiente expresión:

$$D_{\min} = \frac{L * \sin\beta}{\tan(\phi_{\min})} + L \cos\beta$$

$$\phi_{\min} = (90 - \text{latitud}) - 23.5$$

Donde:

- $L(m)$: la distancia horizontal máxima del seguidor
- $\beta(^{\circ})$: la inclinación optima del panel solar
- $\phi_{\min}(^{\circ})$: es latitud mínima

Aplicando las anteriores expresiones para las posibles inclinaciones obtenemos la distancia mínima entre seguidores es de 14 metros, elevando este número al cuadrado se obtiene que cada seguidor ocupara una superficie de 196 metros cuadrados, dividiendo esta superficie, por la superficie total de la instalación obtenemos que podemos instalar 33 seguidores solares.

El seguidor solar seleccionado es el “DEGER D80” [17], fabricado por Deger Ibérica empresa especializada en la fabricación de seguidores solares con años de experiencia en el sector.

DATOS PRINCIPALES

Potencia nominal (según tipo de módulo)	6.000 – 10.000 Wp DC
Tipo de seguimiento	2 ejes
Superficie modular de hasta	52 m ²
Máxima superficie modular (An x Al)	10,05 m x 5,6 m



Figura 8: Seguidor solar seleccionado “DEGER D80” [17].

Elegimos ese seguidor en concreto por su polivalencia y su superficie modular media, fabricado en materiales para soportar las inclemencias meteorológicas. Debido a la limitación de espacio se ha decidido colocar D80 en vez del D100 para evitar que un seguidor provocara sombras sobre otro.

Los módulos fotovoltaicos que se van a instalar pertenecen a la empresa JA SOLAR, empresa sólidamente anclada en el mercado con experiencia y que ofrece módulos fotovoltaicos solares con una buena relación calidad/precio así como una gran variedad de productos. Por ello el modulo fotovoltaico seleccionado “JAM72s20-455/MR” [18]. Los datos de cada módulo en condiciones de test standard (STC) se muestran en la siguiente figura:



SPECIFICATIONS	
Cell	Mono
Weight	25.0kg±3%
Dimensions	2120±2mm×1052±2mm×40±1mm
ELECTRICAL PARAMETERS AT STC	
TYPE	JAM72S20-445/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80
Module Efficiency [%]	20.0

Figura 9. Modulo Solar JAM72s20-455/MR [18].

Es un módulo monocristalino, ideal para climas fríos donde hay tormentas o días nublados y este tipo de modulo se recomienda, ya que absorben mejor la radiación y toleran mejor

el sobrecalentamiento que los módulos policristalinos, pero con un precio un poco mayor [19].

El modulo fotovoltaico tiene una superficie de 2.23 m², y el seguidor tiene una superficie modular máxima de 52m², por lo tanto 23 módulos/seguidor en nuestra instalación, dando lugar a un total 769 módulos, aunque por motivos de adecuado reparto serie-paralelo de módulos, solo se instalaran 765 módulos fotovoltaicos, que irán montados sobre los 33 seguidores y, de esta manera, garantizamos la distancia entre seguidores para evitar las sombras.

La potencia máxima de cada módulo es de 445 W, por lo tanto la potencia nominal de la instalación será de 340425 W (aprox. 340 kW).

La potencia real generada por nuestra instalación se calculará siguiendo las siguientes expresiones:

$$P_{generada} (W) = \frac{G(\beta_{opt})[\frac{W}{m^2}]}{1000 [\frac{W}{m^2}]} \cdot (1 - \gamma(T_{célula}(^{\circ}C) - 25^{\circ}C)) * P_{nominal} (W)$$

$$T_{célula}(^{\circ}C) = T_{ambiente}(^{\circ}C) + \frac{NOCT(^{\circ}C) - 20^{\circ}C}{800[\frac{W}{m^2}]} \cdot G(\beta_{opt})[\frac{W}{m^2}]$$

Donde:

- $G(\beta_{opt})$: es la irradiancia disponible para el ángulo optimo calculado en (W/m²).
- γ : es el coeficiente de potencia del panel solar en nuestro caso 0.35 %/°C.
- $P_{nominal}$: Potencia nominal de la instalación (W)
- $T_{ambiente}$: temperatura media anual (°C) a la que se encuentra el modulo fotovoltaico (valor obtenido junto a la irradiancia).
- $NOCT$: Temperatura de Operación Nominal de la Célula, en nuestro caso 47°C, según el fabricante del módulo fotovoltaico [18].

Gracias a las expresiones anteriores se ha obtenido la energía generada a lo largo de un día dependiendo de los meses del año, en kWh/día y la potencia fotovoltaica total generada cada mes, en kWh. Se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Energía Fotovoltaica generada por el parque solar.

Mes	Energía Fotovoltaica Generada [kWh/día]	Energía Fotovoltaica Generada [kWh]
Enero	1743,46	54047,15
Febrero	1620,02	45360,49
Marzo	1623,15	50317,58
Abril	1651,80	49553,96
Mayo	1875,69	58146,54
Junio	1994,54	59836,08
Julio	2096,51	64991,87
Agosto	2142,10	66405,00
Septiembre	1899,43	56983,01
Octubre	1580,43	48993,47
Noviembre	1370,40	41112,03
Diciembre	1204,96	37353,77

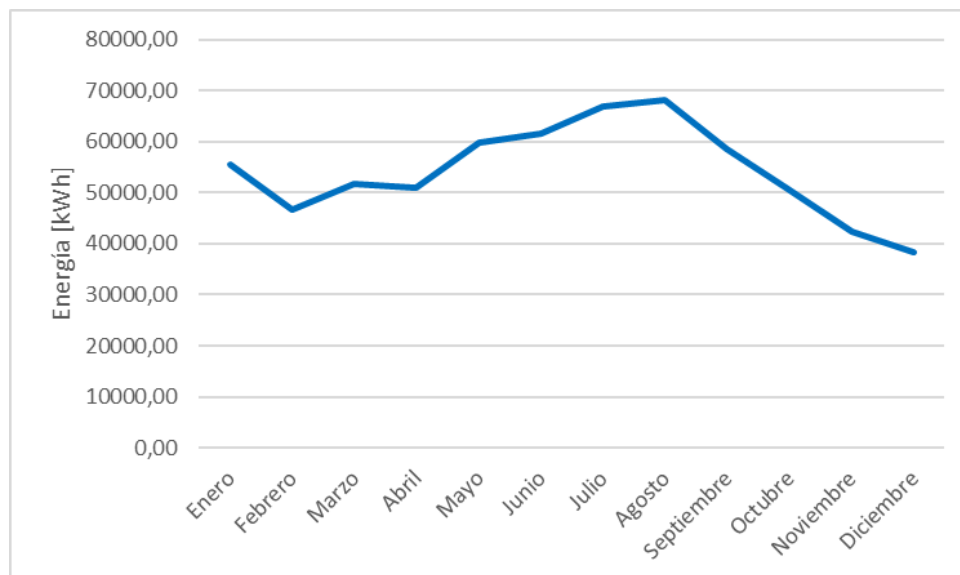


Figura 10. Energía Fotovoltaica generada [kWh].

Conexión de las placas fotovoltaicas:

La planta FV estará conectada al bus DC de 700 V a través de un regulador DC//DC comercial que adaptará la tensión total generada a la del bus y cargará, a su vez, las baterías, las placas fotovoltaicas se conectarán de manera que su tensión a máxima potencia este lo más cerca posible de esos 700 V, esto dará la configuración serie-paralelo de los 765 módulos:

$$N_{serie} = \frac{700}{41.21} = 16.98 \cong 17 \text{ módulos en serie}$$

$$N_{paralelo} = \frac{759}{17} \cong 45 \text{ módulos en paralelo}$$



Figura 11. Esquema conexionado placas fotovoltaicas.

En total son 765 módulos con una tensión a máxima potencia de 700 V y una corriente máxima a máxima potencia de 490 A. Se deberán instalar 27 seguidores con 23 módulos y 6 seguidores con 24 módulos.

3.2.2 Regulador 4 DC/DC de 100 kW

El Regulador DC/DC se encarga de controlar el estado de las baterías, evitando sobrecargas y descargas profundas de las mismas. Permiten tensiones de entrada entre 600-750 V DC y una tensión de salida entre 400 a 750 V.

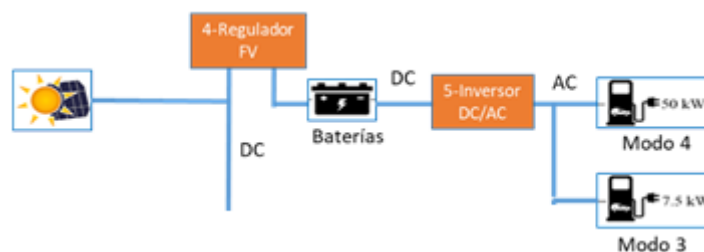


Figura 12. Esquema conexión regulador DC/DC

Se propone el convertidor GWSHF 650/650-100kW de la marca APS [20], ya que tiene una potencia de 100 kW.



DC/DC Converter

GWSHF 650/650-100kW

Supply voltage: 600/750 VDC

Output: 400 – 750 VDC – 200 A Continuous current

Performance: 100 kW

Dimensions (LxWxH): 1300x1400x270 mm

Weight: 450 kg

Figura 13. Convertidor DC/DC GWSHF650/650-100kW [20]

3.2.3 Cálculo de la energía eólica disponible

Para calcular la potencia eólica disponible se necesita conocer la velocidad del viento en el lugar donde se presente colocar el aerogenerador. Este dato también nos lo proporciona el PGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [21], la herramienta nos proporciona los datos meteorológicos del punto geográfico deseado, en nuestro caso los datos que nos interesan son la velocidad y dirección del viento en el punto deseado.

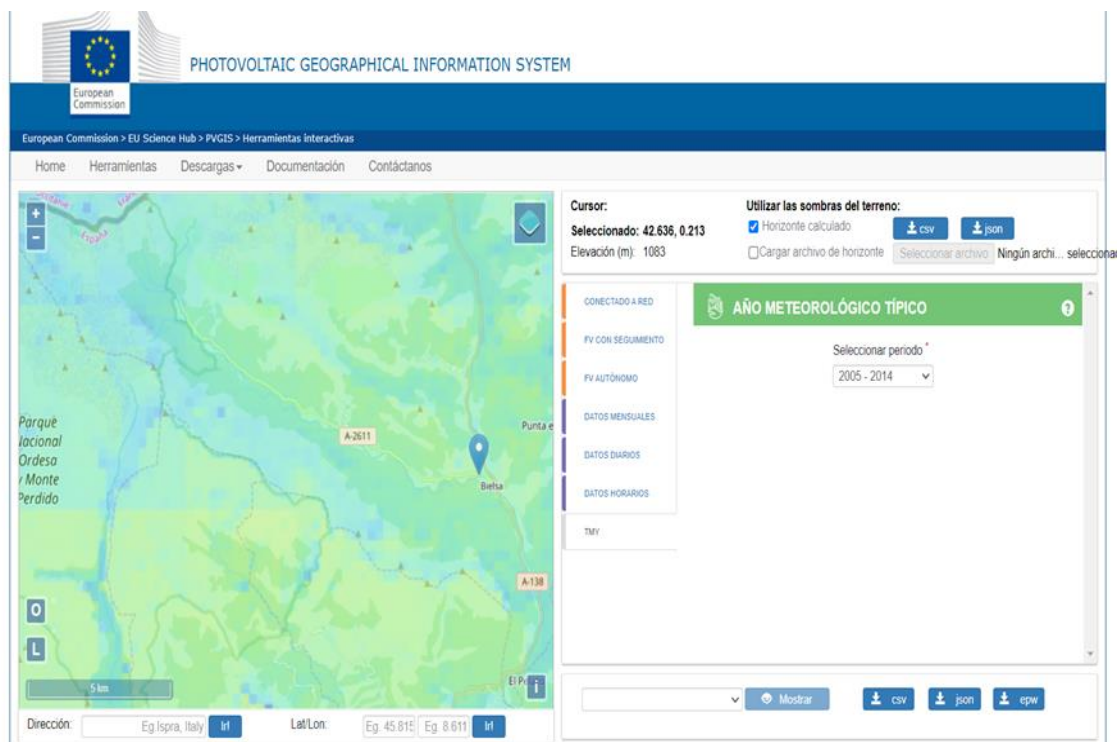


Figura 14. Herramienta para obtener datos meteorológicos [21].

Antes de calcular la potencia eólica disponible, se debe realizar un estudio del viento en la zona donde se pretende colocar el aerogenerador, para determinar la velocidad del viento a la altura del aerogenerador, la distribución de Weibull y la dirección del viento para orientar el aerogenerador.

La velocidad que nos proporciona la herramienta está tomada a 10 metros del suelo, y nuestro aerogenerador va a estar colocado a 25 metros por encima de donde se han conseguido los datos, por lo tanto vamos a tener que modificar la velocidad en función de la nueva altura, para eso vamos a utilizar la siguiente ecuación [22]:

$$\frac{V(y)}{V(y_0)} = \left(\frac{y}{y_0}\right)^\alpha$$

Donde:

- $V(y)$: Velocidad del viento a la altura que deseamos saber (m/s)
- $V(y_0)$: Velocidad del viento a altura proporcionada (m/s)
- y : Altura que se deseamos saber la velocidad (m)
- y_0 : Altura conocida (m)
- α : Coeficiente de rugosidad

Tabla 4: Valor de α para diferentes terrenos [23]

Terreno	Valor del exponente α
Lugares llanos con hielo o hierba	0.08 ÷ 0.12
Lugares llanos (mar, costa)	0.14
Terrenos poco accidentados	0.13 ÷ 0.16
Zonas rústicas	0.2
Terrenos poco accidentados o bosques	0.2 ÷ 0.26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0.25 ÷ 0.4

Una vez hallada la velocidad del viento a la altura deseada, lo siguiente que debemos conocer es la rosa de los vientos, es decir en qué dirección y cuantas horas a lo largo de un año sopla el viento en una determinada dirección.

Una vez obtenidos los datos, los organizamos y representamos de manera que obtengamos la rosa de los vientos, mostrada a continuación:

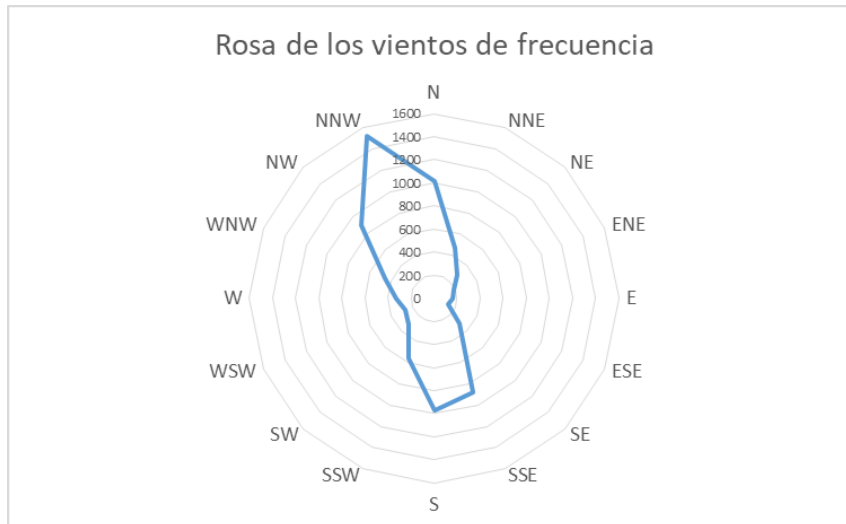


Figura 15. Rosa de los vientos en ubicación parque eólico.

Se puede observar en la anterior figura que para la mayor frecuencia de horas el viento sopla en la dirección NNW (Norte-Noroeste), N (Norte) y WNW (Oeste-Noroeste). Indicándonos la dirección en la que ira orientada el aerogenerador.

La distribución de probabilidad de Weibull es una función imprescindible para calcular el potencial eólico del punto donde se encuentra nuestra instalación, esta función se ajusta a la siguiente expresión, conocida como el polinomio de Weibull:

$$P = \frac{k}{c} * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Tabla 5: Rango de velocidad del viento y frecuencias.

Rango Velocidad (m/s)	Frecuencia(h)	Frecuencia Relativa (%)	Frecuencia Acumulativa (%)
0-1	540	6,16	6,16
1-2	1298	14,82	20,98
2-3	1530	17,47	38,45
3-4	1500	17,12	55,57
4-5	1213	13,85	69,42
5-6	906	10,34	79,76
6-7	592	6,76	86,52
7-8	400	4,57	91,08
8-9	272	3,11	94,19
9-10	157	1,79	95,98
10-11	118	1,35	97,33
11-12	90	1,03	98,36
12-13	60	0,68	99,04
13-14	35	0,40	99,44
14-15	23	0,26	99,70
15-16	19	0,22	99,92
16-17	5	0,06	99,98
17-18	2	0,02	100,00
18-19	0	0,00	100,00
19-20	0	0,00	100,00

Al organizar las horas que sopla el viento durante todas las horas del año a las distintas velocidades observamos que la función resultante se ajusta al polinomio de Weibull.

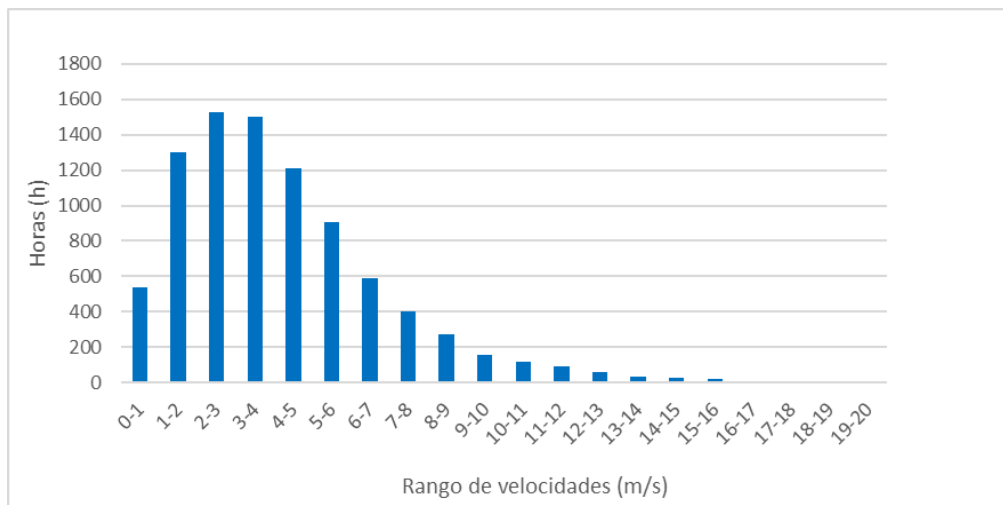


Figura 16. Horas que sopla el viento en un rango de velocidad a lo largo del año.

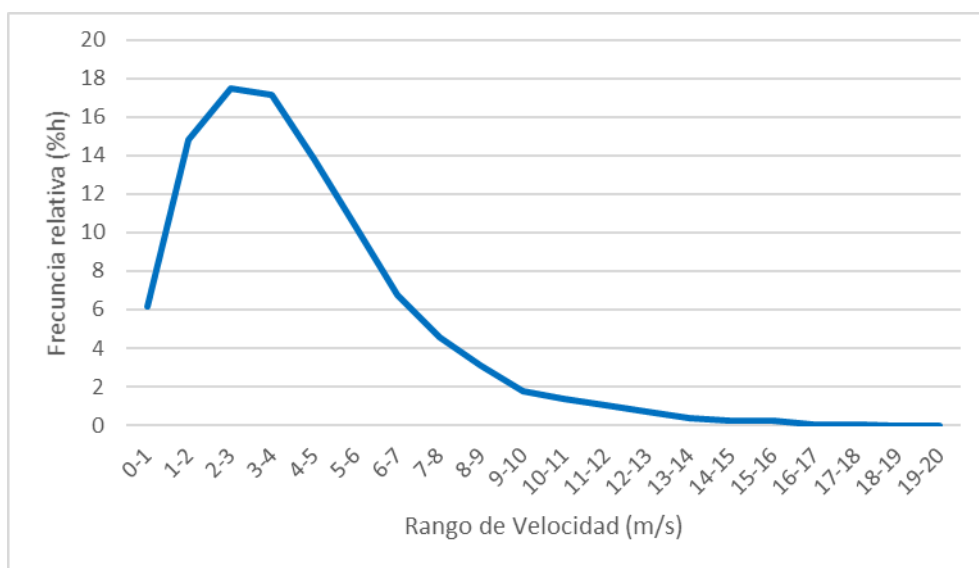


Figura 17. Función de Weibull.

El siguiente paso para calcular la potencia que nos genera nuestra instalación, es imprescindible seleccionar el aerogenerador y contar con su curva de potencia. La curva de potencia nos muestra la velocidad de arranque, la velocidad nominal y la velocidad de corte del aerogenerador.

Hemos elegido la empresa Enair para la selección del aerogenerador, ya que es una empresa especializada en aerogeneradores para autoconsumo de pequeño tamaño.

Dentro de su catálogo tenemos 4 tipos de aerogenerador, de las siguientes potencias nominales 3kW, 5kW, 20kW, 60kW; descartamos el de 3kW y el de 60kW ya que sus curvas de potencia no son semejantes a nuestra función.

Entre el de 5kW y 20kW efectuamos una comparación de la energía anual que nos van a producir, para ello primero hay que obtener la potencia eólica:

$$Peólica = \frac{1}{2} * A * \rho * v^3$$

Donde:

- A: Área de barrido del aerogenerador (m²)
- ρ : Densidad del aire (kg/m³)
- v: Velocidad del viento (m/s)

Una vez calculada la $Peólica$ hay que multiplicarla por el CP del aerogenerador para las distintas velocidades, y finalmente por el número de horas para obtener la energía anual que es capaz de suministrar el aerogenerador, en la siguiente tabla se muestra la comparación entre los dos aerogeneradores, donde las características se han obtenido de sus fichas técnicas [24][25].

Tabla 6: Energía suministrada por aerogenerador 5kW.

Tipo Aerogenerador	Velocidad (m/s)	Área de Barrido (m ²)	CP	Densidad del aire (kg/m ³)	Potencia (w)	Horas Año (h)	Energía (wh)	Energía Total (kwh)
Aerogenerador 1 (5kw)	0	14,5	0	1,2	0,00	540	0	4042,62
	1		0		0,00	1298	0	
	2		0,1		6,96	1530	10648,8	
	3		0,166		38,99	1500	58490,1	
	4		0,35		194,88	1213	236389,44	
	5		0,4		435,00	906	394110	
	6		0,42		789,26	592	467244,288	
	7		0,46		1372,69	400	549074,4	
	8		0,46		2049,02	272	557334,528	
	9		0,43		2727,19	157	428168,673	
	10		0,4		3480,00	118	410640	
	11		0,33		3821,30	90	343917,09	
	12		0,27		4059,07	60	243544,32	
	13		0,22		4205,06	35	147177,03	
	14		0,16		3819,65	23	87851,904	
	15		0,14		4110,75	19	78104,25	
	16		0,12		4276,22	5	21381,12	
	17		0,1		4274,31	2	8548,62	
	18		0,08		4059,07	0	0	
	19		0,07		4177,13	0	0	
	20		0,07		4872,00	0	0	

Tabla 7: Energía suministrada por aerogenerador 20kW.

Tipo Aerogenerador	Velocidad (m/s)	Área de Barrido (m ²)	CP	Densidad del aire (kg/m ³)	Potencia (w)	Horas Año (h)	Energía (wh)	Energía Total (kwh)
Aerogenerador 2 (20kw)	0	75,4	0	1,2	0,00	540	0	18013,09
	1		0		0,00	1298	0	
	2		0,216		78,17	1530	119607,322	
	3		0,4		488,59	1500	732888	
	4		0,457		1323,18	1213	1605016,76	
	5		0,485		2742,68	906	2484863,55	
	6		0,471		4602,54	592	2724701,69	
	7		0,44		6827,62	400	2731048,32	
	8		0,41		9496,78	272	2583124,38	
	9		0,301		9926,97	157	1558533,97	
	10		0,2195		9930,18	118	1171761,24	
	11		0,1648		9923,34	90	893100,574	
	12		0,127		9928,19	60	595691,366	
	13		0,099		9839,84	35	344394,25	
	14		0,08		9931,08	23	228414,95	
	15		0,06		9161,10	19	174060,9	
	16		0,05		9265,15	5	46325,76	
	17		0,044		9779,62	2	19559,2426	
	18		0,037		9762,07	0	0	
	19		0,032		9929,64	0	0	
	20		0,02		7238,40	0	0	

Elegimos el Aerogenerador Enair E200 [24] de 20 kW de potencia nominal ya que es capaz de suministrar más energía.



E200

FICHA TÉCNICA

Nuestra tecnología patentada es una inteligente adaptación de los principales sistemas que tiene la gran eólica adaptada a potencias de 10 a 60kW. Alta seguridad, máximo control y eficiencia

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

GENERADOR	Potencia	20kW - Max.
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal sotavento
	Potencia nominal	18kW - IEC 61400
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad rotación	120rpm
	Inicio de rotación	1.85m/s
	Corte producción	30m/s
	Protección	Ip-65/alta protección ambiental
	Peso	1000kg
ROTOR	Orientación	Orientación aerodinámica
	Diámetro	9.8m
	Área de barrido	75.4m ²
	Longitud de pala	4.5m
	Material de pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
Tipo de control		Paso variable activo, regul. electrónica y freno

Figura 18. Datos técnicos aerogenerador Enair E200 [24].

Gracias al estudio anterior se ha obtenido la energía eólica media generada a lo largo de un día dependiendo de los meses del año, en kWh/día y la energía eólica total generada cada mes, en kWh. Se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Energía Eólica generada por el parque eólico.

Mes	Energía Eólica Generada [kWh/día]	Energía Eólica Generada [kWh]
Enero	30,82	955,42
Febrero	15,26	427,41
Marzo	81,56	2528,27
Abril	37,78	1133,37
Mayo	18,65	578,23
Junio	23,14	694,32
Julio	10,49	325,10
Agosto	12,80	396,91
Septiembre	11,51	345,22
Octubre	22,86	708,80
Noviembre	53,98	1619,32
Diciembre	34,32	1063,86

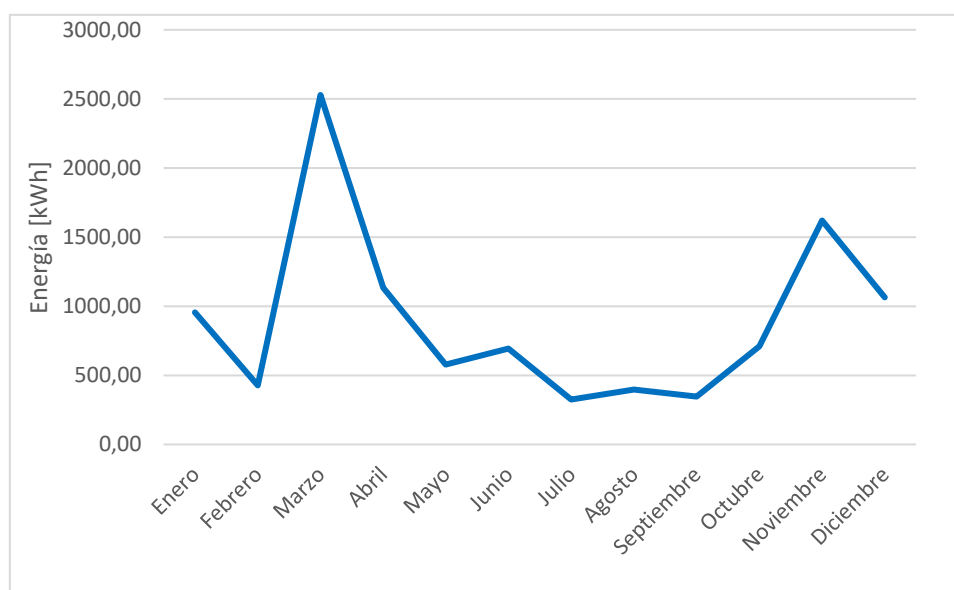


Figura 19. Energía eólica generada [kWh].

Finalmente el convertidor AC/DC, que ajusta la corriente alterna de salida al bus de continua viene integrado dentro del aerogenerador donde se deberá conectar a nuestro convertidor híbrido solar-eólica DC/AC, como indica en la hoja de características.

3.2.4 Selección del convertidor híbrido solar-eólica DC/AC para conexión a red

Comercialmente no existe un inversor híbrido que se ajuste a las características de la instalación, por ello se ha optado por colocar un inversor para la planta eólica de 20 kW y 2 inversores de 185 kW para la planta solar, como se muestra en la siguiente figura.

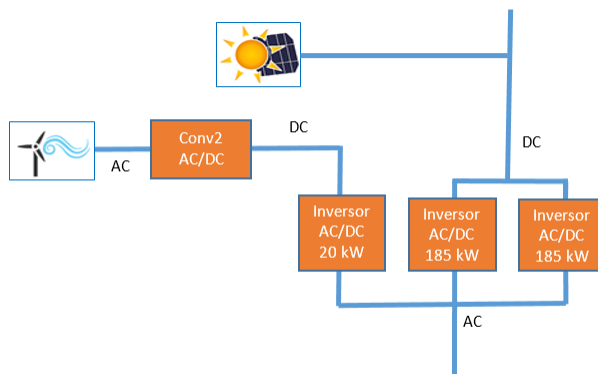


Figura 20. Esquema conexión convertidor híbrido solar-eólico DC/AC.

Los inversores para la planta solar son los Huawei Sun2000-185KTL-H1 [25], donde presentan una tensión de entrada máxima de 1500V, siendo el bus de la instalación de 700V, y una potencia de 185 kW por ello se han de colocar 2 dispositivos para cubrir la potencia nominal de la instalación 340 kW.



Entrada	
Máx. tensión de entrada	1,500 V
Máx. intensidad por MPPT	26 A
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	40 A
Tensión de entrada inicial	550 V
Rango de tensión de operación de MPPT	500 V ~ 1,500 V
Tensión nominal de entrada	1,080 V
Número de entradas	18
Número de MPPTs	9
Salida	
Potencia nominal activa de CA	185,000 W @25°C, 175,000 W @40°C
Máx. potencia aparente de CA	185,000 VA
Máx. potencia activa de CA (cosφ=1)	185,000 W
Tensión nominal de salida	800 V, 3W + PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad de salida nominal	134.9A @25°C, 126.3 A @40°C
Máx. intensidad de salida	134.9 A
Factor de potencia ajustable	0.8 LG ... 0.8 LD
Máx. distorsión armónica total	< 3%

Figura 21. Inversor Huawei Sun2000-185KTL-H1 [25].

El inversor para la planta eólica es el Huawei SUN2000-20KTL-M0 [26], el cual presenta un rango de tensión de entrada de entre 160V – 950V y una potencia máxima de entrada de 29 kW, siendo nuestro aerogenerador de 20 kW está dentro del rango de operación del inversor.



Especificaciones técnicas	SUN2000 -12KTL-M0	SUN2000 -15KTL-M0	SUN2000 -17KTL-M0	SUN2000 -20KTL-M0
Eficiencia				
Máxima eficiencia	98.50%	98.65%	98.65%	98.65%
Eficiencia europea ponderada	98.00%	98.30%	98.30%	98.30%
Entrada				
Potencia FV máxima de entrada	24,000 Wp	29,760 Wp	29,760 Wp	29,760 Wp
Tensión máxima de entrada ¹		1,080 V		
Rango de tensión de operación ²		160 V ~ 950 V		
Tensión de arranque		200 V		
Tensión nominal de entrada		600 V		
Intensidad de entrada máxima por MPPT		22 A		
Intensidad de cortocircuito máxima		30 A		
Cantidad de MPPTs		2		
Cantidad máxima de entradas por MPPT		2		
Salida				
Conexión a red eléctrica		Tres fases		
Potencia nominal activa de CA	12,000 W	15,000 W	17,000 W	20,000 W
Máx. potencia aparente de CA	13,200 VA	16,500 VA	18,700 VA	22,000 VA
Tensión nominal de salida		220 Vac / 380 Vac; 230 Vac / 400 Vac; 3W + N + PE		
Frecuencia nominal de red de CA		50 Hz / 60 Hz		
Máx. intensidad de salida	20 A	25.2 A	28.5 A	33.5 A
Factor de potencia ajustable		0.8 capacitivo ... 0.8 inductivo		
Máx. distorsión armónica total		≤ 3 %		

Figura 22. Inversor Huawei SUN2000-20KTL-M0 [26].

3.3 Estudio del punto de recarga, necesidades energéticas, soluciones técnicas disponibles y almacenamiento energético.

3.3.1 Estudio de la Red de Carreteras y sus características en Javierre de Bielsa

Para colocar los puntos de recarga de vehículos eléctricos en Javierre de Bielsa, se ha realizado un estudio para ver los datos de tráfico en la carretera que comunica este núcleo urbano con la carretera principal, cabe mencionar que esta carretera es la que permite llegar al Parque nacional de Ordesa y Monte Perdido (Sector Pineta), con el fin de estimar el número de vehículos que podrían utilizar el punto de recarga y sabiendo este dato, dimensionar este mismo.

El Gobierno de Aragón nos proporciona una herramienta para visualizar el aforo de las carreteras de la comunidad. Se adjunta imagen y leyenda a color con el IMD (Índice Medio Diario) de Tráfico en las carreteras de la comunidad en 2017

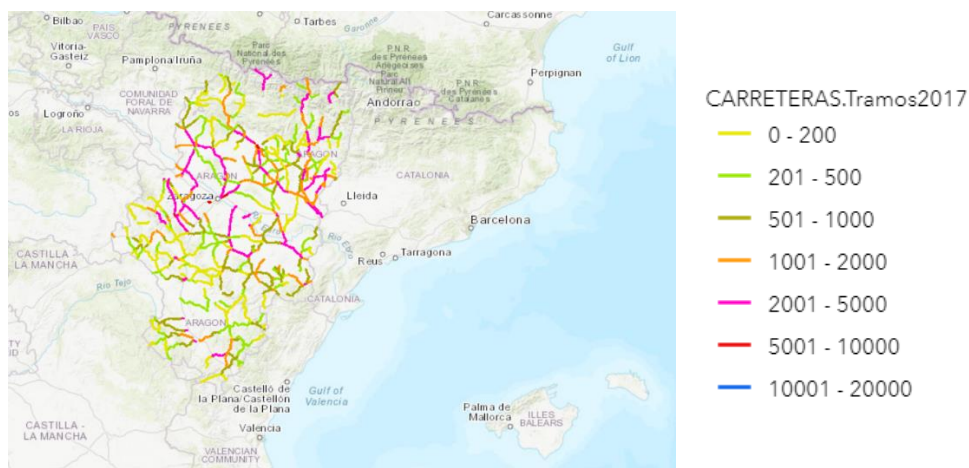


Figura 23. Red Carreteras de Aragón y leyenda IMD [27].

Centrándonos en la carretera A-2611, carretera que atraviesa Javierre de Bielsa, núcleo rural objeto de estudio, observamos que tiene una densidad de tráfico de 201 – 500 vehículos al día.

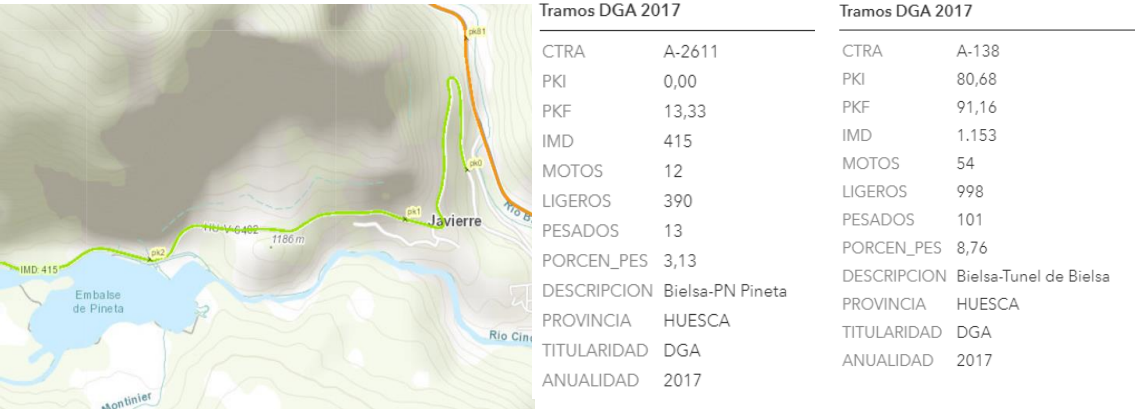


Figura 24. Datos carreteras A-2611 y A-138 [27].

Además, también podemos obtener los datos de la carretera A-138, carretera con paso fronterizo a Francia, donde la densidad de tráfico es mayor, de 1001-2000 vehículos al día.

El total de vehículos matriculados en España en 2019 era de aproximadamente de treinta cuatro millones [28], del total de vehículos matriculados treinta y un mil eran vehículo eléctrico puro y treinta y siete mil eran híbridos enchufables [29], podemos afirmar que el 0.2% de coches necesitan puntos de recarga.

Extrapolando estos datos a mi punto de recarga, 3 vehículos al día podrían precisar de recargar el vehículo.

A día de hoy los puntos de recarga en la zona son escasos y los que hay están a varias decenas de kilómetros [30], como puede observarse en la siguiente figura donde en la A-138 y A-2611 no hay puntos de recarga, los que hay pertenecen a establecimiento turísticos. La electrolinera más cercana está en Francia, a más de 30km.

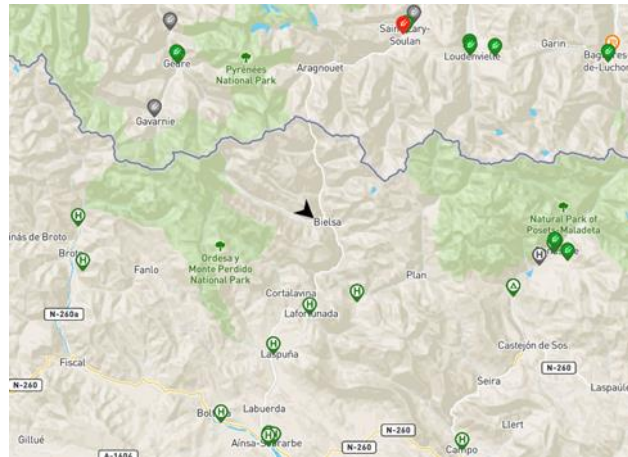


Figura 25. Localización puntos de recarga de vehículos eléctricos. Electromaps [30]

En conclusión podemos afirmar que sería interesante disponer de un punto de recarga de vehículo eléctrico en la zona, debido a la escases de estos en los kilómetros cercanos y el auge de la movilidad con vehículo eléctrico.

3.3.2 Tipos y selección de punto de recarga de vehículo eléctrico

Existen varios tipos de puntos de recarga de vehículo eléctricos, que los podemos clasificar por la potencia y la intensidad, que estos dos parámetros nos van a dar como resultado el tiempo que le va a costar recargar la batería del vehículo.

Vamos a enumerar los tipos que existen y seleccionaremos aquellos que más se ajusten a nuestra instalación.

- Recarga súper-lenta (modo1)

En este tipo de recarga la conexión entre el vehículo y red se hace mediante una toma tipo Schuko, con una potencia de 2.3 kW y una corriente de 10 A, debido a esta corriente baja el tiempo de recarga ronda las 10 horas o más. Apenas se usa, ya que está enfocada más a vehículos eléctricos de pequeño tamaño, como motocicletas, patinetes, bicicletas [31].

- Recarga lenta (modo2)

En la recarga lenta la potencia máxima es de 3.7 kW y la intensidad es de 16 A. Este aumento de potencia e intensidad provoca que el tiempo de recarga del vehículo se vea reducido a un tiempo de entre 8 y 9 horas. La conexión se hace mediante una toma Schuko o CEE/CETAC. Este método de recarga se utiliza en el ámbito doméstico [31].

- Recarga semi-rápida (modo3)

Este método alcanza una potencia de 7.4 kW en monofásica y 22 kW en trifásica, con una corriente de 16 A o 32 A por fase. Los tiempos van de 4 a 5 horas con conexión monofásica a 2 a 3 horas con la conexión trifásica, llegando incluso a 1 hora y 30 minutos en vehículos de última generación. La conexión que se utiliza es SAVE y se colocan en centros comerciales, garajes, edificios de oficinas [31].

- Recarga rápida (modo4)

La recarga rápida demanda una potencia de 50 kW y una intensidad de 400A en corriente continua, lo que permite cargar el vehículo en tiempos mucho más reducidos que las anteriores, entre 30 y 40 minutos. La toma es de tipo ChaDeMO o CSS Combo. Este modelo de carga se realiza en estaciones de recarga de vehículo eléctrico, más conocidas como “electrolineras” [32].

- Recarga súper-rápida (modo4)

Este último modelo de carga está en fase experimental, donde la potencia de carga se eleva a los 130-150 kW, utilizando acumuladores con condensadores, cargando el vehículo en apenas 15 minutos o menos [32].

En la siguiente tabla se puede ver un resumen de los tipos de recarga mencionados anteriormente y sus principales características:

Tabla 9: Resumen tipos de puntos de recarga de vehículo eléctrico.

Tipo de Recarga	Tipo de Corriente	Potencia	Intensidad	Tiempo de Recarga
Súper-lenta	AC Monofásica	2.3 kW	10 A	>10 Horas
Lenta	AC Monofásica	3.7 kW	16 A	8-9 Horas
Semi-rápida	AC Monofásica	7.4 kW	32 A	3-4 Horas
	AC Trifásica	22 kW	16-32 A	1.5-3 Horas
Rápida	DC	50 kW	400 A	30-40 Minutos
Súper-rápida	DC	150 kW	-	>15 Minutos

Debido al estudio efectuado del estado del tráfico en las carreteras próximas al municipio y el número de potenciales usuarios del punto de recarga de vehículo eléctrico, se ha decidido de disponer de dos puntos de puntos de recarga, uno de 50 kW (modo 4), que

cargara al vehículo en aproximadamente 1 hora, y uno de 7.4 kW, que realizara la recarga en 3 horas (modo3).

Se han seleccionado los puntos de recarga de vehículo eléctrico de la marca “EVBOX” debido a creciente gama de productos y por su oferta de diferentes soluciones. Ambos equipos se alimentan desde la red III de CA a 400 V para asegurar la posibilidad de carga en el caso de no haya producción de renovables y ausencia de energía en las baterías.

El punto de recarga de 7.4 kW es el EVBOX Business Line [33] y el punto de recarga de 50 kW es el EVBOX Troniq 50 [33], a continuación se muestran en la siguiente figura los puntos de recarga de vehículo eléctrico.



Figura 26. Puntos de recarga de vehículo eléctrico seleccionados [33].

3.3.3 Selección de baterías

Para seleccionar las baterías se ha optado por tener un almacenamiento nominal de 100 kWh, ya que de esta manera como las baterías solo van a suministrar de energía a los puntos de recarga de vehículo eléctrico garantizamos una disponibilidad la mayor parte del tiempo, ya que habrá momentos a lo largo del tiempo que las baterías estarán por debajo del 20% de su capacidad nominal y no podrán recargar los vehículos hasta que la energía de las baterías esté por encima de este valor. Así que con un valor de 100 kWh estaremos con una disponibilidad la mayor parte del tiempo.

Para este estudio vamos a utilizar las baterías de Litio, que debido a su auge debido a las grandes ventajas que presentan frente a los otros tipos de baterías del mercado, cabe mencionar que estas baterías están en continua investigación para mejorar su capacidad y calidad.

Algunas de las ventajas que presentan las baterías de Litio son, que no sufre el “Efecto Memoria” (reducir su vida útil si la recarga no se hace al 100% de su capacidad nominal), mayor capacidad y vida útil frente a las convencionales y son totalmente seguras y fiables [34].

Debido a esto se ha optado por utilizar un sistema modular de almacenamiento EBick 180 pro de la marca Cegasa [35], y que permite modular nuestra potencia desde 8.6 kWh hasta 206 kWh, pudiendo ampliar nuestra instalación si fuera preciso. En la siguiente figura se puede apreciar las características de cada módulo y su configuración final.



Figura 27. Características Batería EBick 180 [35].

En la instalación se ha optado por disponer de 12 módulos conectados en serie, ya que de este modo se consigue 100 kWh de energía nominal y una tensión nominal de 576 V, permitiendo alimentar los puntos de recarga del vehículo eléctrico garantizando la mayor disponibilidad posible y aproximándose a la tensión del bus de continua.

3.3.4 Selección del convertidor 5 DC/AC

El Inversor fotovoltaico INGECON SUN 100TL, se encarga de transformar la corriente continua que sale del sistema de baterías en corriente alterna para alimentar los puntos de recarga de vehículo eléctrico.

Se ha optado por este dispositivo ya que tiene una alta potencia de salida, 110 kW máxima [36], siendo 100 kW la que requiere la instalación planteada.

100TL				
Valores de Entrada (DC)				
Rango pot. campo FV recomendado	56 - 80,2 kWp	91,1 - 130,5 kWp	96,2 - 137,8 kWp	101,2 - 145 kWp
Rango de tensión MPP ⁽¹⁾	513 - 850 V	513 - 850 V	541,5 - 850 V	570 - 850 V
Tensión máxima ⁽²⁾	1.100 V			
Corriente máxima ⁽³⁾	185 A			
Corriente de cortocircuito	240 A			
Entradas (STD / PRO)	1 / 24			
MPPT	1			
Valores de Salida (AC)				
Potencia nominal	55,3 kW	90 kW	95 kW	100 kW
Máx. temperatura a potencia nominal ⁽⁴⁾	50 °C			
Corriente máxima	145 A			
Tensión nominal	220 V	360 V	380 V	400 V
Frecuencia nominal	50 / 60 Hz			
Tipo de red ⁽⁵⁾	TT / TN			
Factor de Potencia	1			
Factor de Potencia ajustable ⁽⁶⁾	Si. Smáx=55,3 kVA Qmáx=33,2 kVAR	Si. Smáx=90 kVA Qmáx=54 kVAR	Si. Smáx=95 kVA Qmáx=57 kVAR	Si. Smáx=100 kVA Qmáx=60 kVAR
THD	<3%			



Figura 28. Datos técnicos convertidor DC/AC 100TL [36].

3.3.5 Estudio Energético

Para llevar a cabo el estudio energético del municipio se va a llevar una comparación entre la generación y los consumos mensuales de nuestra instalación, a partir de este primer escenario dimensionado se va a proceder a analizar de manera anual el flujo de energía del municipio, mostrando así las ventajas y desventajas del planteamiento de la instalación.

Para este análisis se ha calculado el consumo y la generación mensual para posteriormente sumar los valores obtenidos y calcular el valor anual. En la siguiente tabla y figura se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 10: Energía Generada y Energía Consumida por Municipio.

Mes	Energía Total Generada [kWh]	Consumo Urbano [kWh]
Enero	55002,58	40518,74
Febrero	45787,90	36860,18
Marzo	52845,86	40325,30
Abril	50687,33	39112,02
Mayo	58724,78	41003,72
Junio	60530,40	46200,24
Julio	65316,98	47740,25
Agosto	66801,90	47740,25
Septiembre	57328,24	39112,02
Octubre	49702,28	40325,30
Noviembre	42731,35	39299,22
Diciembre	38417,63	42893,21

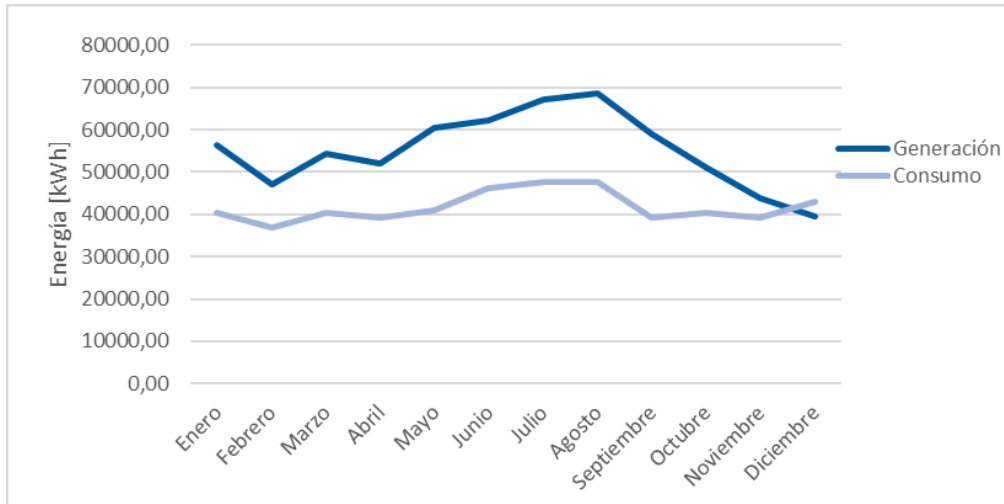


Figura 29. Comparación entre generación y consumo del municipio.

Como podemos observar en la figura anterior sobradamente podemos cubrir la demanda del municipio salvo el último mes del año, ya que debido a las condiciones climáticas, no es capaz de suministrar la energía suficiente para abastecer el municipio, en este caso la energía será comprada a la compañía eléctrica.

A continuación vamos a hacer una comparación de la energía generada por la planta fotovoltaica, la energía generada por el parque eólico y el consumo del municipio, que se muestra en la siguiente figura.

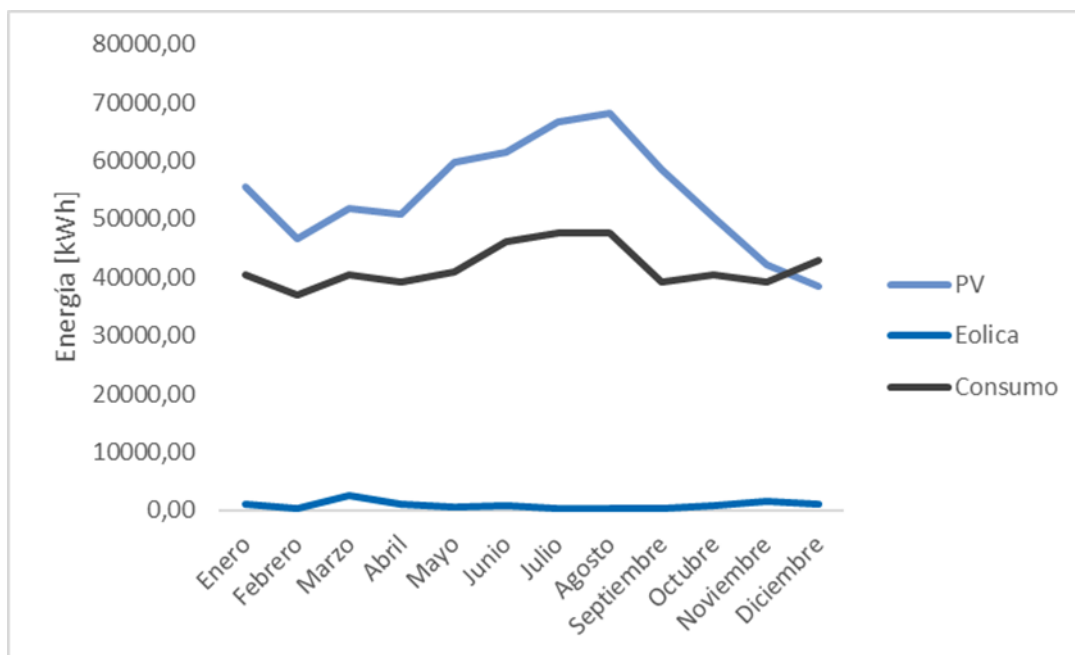


Figura 30. Comparación entre tipos de energía generada y consumo del municipio.

Con antelación, en base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que haciendo un uso exclusivo de la energía fotovoltaica se podría cubrir de manera holgada los consumos anuales, salvo el último mes del año y, siendo así, el recurso eólico incapaz de cubrir toda la demanda energética, podría dejar de considerarse como necesario.

Seguidamente vamos a realizar una comparación de la evolución de la energía en las baterías, el consumo y la energía generada a lo largo de una semana. Debido al estudio de las carreteras que comunican el municipio se sabe que el número de vehículos eléctricos que podrían utilizar el punto de recarga es de 3 al día.

Como se observa en la siguiente figura, mientras la energía generada sea superior al consumo en ese instante se permitirá cargar la batería, si por el contrario no hay energía disponible de nuestra instalación de autoconsumo las baterías no pueden cargar hasta que sí que haya energía de nuestro parque generador.

Por otra parte podemos afirmar que a partir de las 18:00 horas, si llegara otro vehículo para recargar sus baterías debería ser modo 3, ya que si fuera en el modo 4 las baterías quedarían vacías por completo.

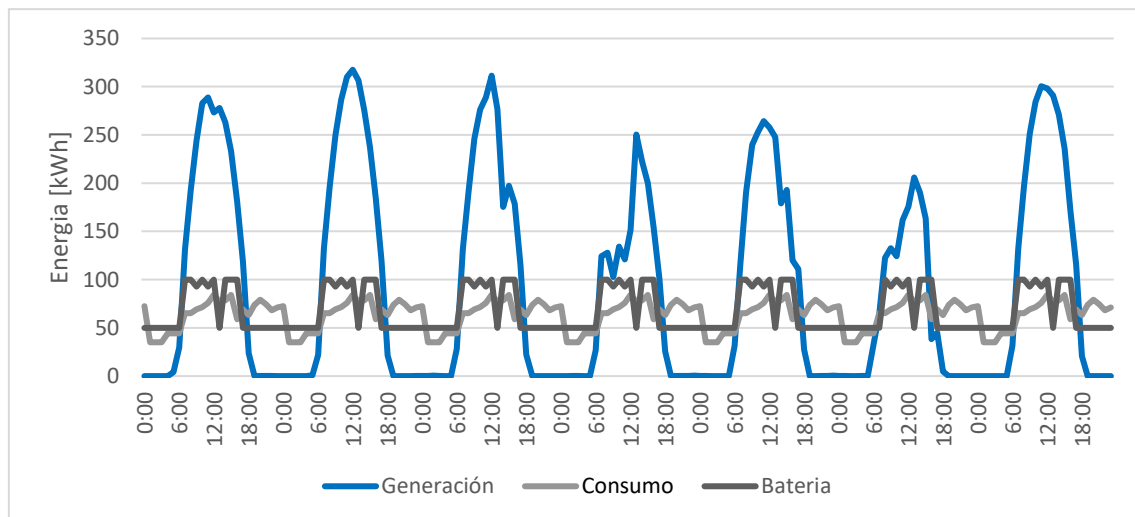


Figura 31. Comparación entre generación, consumo y energía en la batería.

En la siguiente figura se hace una comparación de la evolución de la energía en la batería en función de la utilización del punto de recarga a lo largo de 24 horas.

El estado inicial de la batería es de 50 kWh, ya que el día anterior recargo un vehículo por la tarde cuando el parque generador no tenía energía para cubrir la demanda del punto de recarga por lo tanto la batería no se recarga.

Además se puede apreciar la recarga en modo 3 consume 7.4kWh durante 3 horas, mientras que la recarga en modo 4, consume 50 kWh durante 1 hora. La batería se carga mientras haya energía disponible del parque generador, como se puede observar en las horas centrales del día al haber energía disponible la batería carga.

A diferencia de las últimas horas del día donde la energía de la batería se mantiene constante debido a que la energía del parque generador no es suficiente para cargar las baterías.

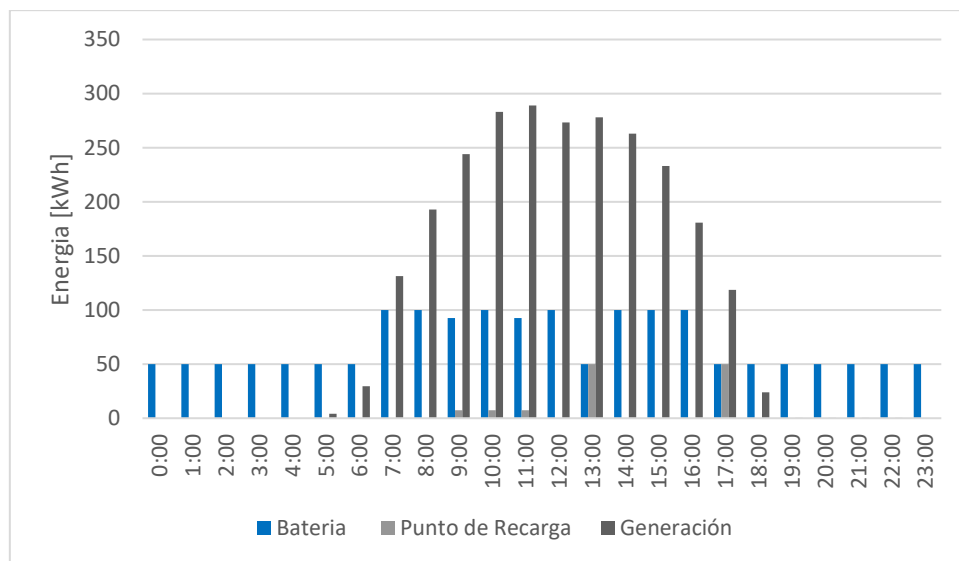


Figura 32. Comparación entre energía en batería y utilización de los puntos de recarga.

Energéticamente el proyecto cumple con las expectativas y podemos afirmar que sería interesante de llevar a cabo en términos energéticos. Ya que se obtiene mucha más energía de las plantas de generación de la que se consume en el municipio y en los punto de recarga de vehículo eléctrico.

También cabe mencionar que el dimensionamiento de la instalación permite abastecer el punto de recarga de vehículo la mayor parte del tiempo, quedando muy pocas horas a lo largo del año donde los vehículos no pueden recargar sus baterías.

Si la demanda de energía por parte de los puntos de recarga aumentara debido al incremento de su utilización, esta demanda quedaría sin verse cubierta, ya que las baterías solo se cargan si hay energía generada es superior al consumo urbano, y habría que estudiar otras soluciones para abastecer la demanda total si aumentara el número de vehículos eléctricos que precisaran los puntos de recarga.

3.4 Posibilidad de Autoconsumo y Análisis Económico.

3.4.1 Autoconsumo

El autoconsumo se entiende como “el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica provenientes de instalación de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos” [37].

Las principales ventajas del autoconsumo son principalmente, el ahorro económico que presenta este consumo frente al ser dependiente de una compañía eléctrica, otra gran ventaja es que la obtención de energía se consigue gracias a fuentes renovables y no hay límite de potencia a instalar, los propietarios de la planta de autoconsumo pueden producir sin límites, finalmente otra gran ventaja es la accesibilidad, ya que este tipo de consumo permite llevar la energía eléctrica a puntos donde la red eléctrica no llega.

Hay varios métodos aplicados para la retribución al autoconsumo como por ejemplo el balance neto, el balance neto económico y las tarifas FIT.

El balance neto energético se basa en un único contador bidireccional y mide la diferencia entre la energía inyectada a la red desde el lado del usuario de la instalación de autoconsumo y la energía consumida a lo largo de un periodo de tiempo. El precio de la energía cedida y consumida es el mismo, en caso de que la energía consumida fuera menor de la energía cedida el importe final de la factura de la compañía eléctrica sería cero euros [38].

El balance neto económico se basa a diferencia del balance neto energético, en comparar en términos económicos la diferencia entre la energía consumida menos la inyectada. La compañía suministradora fija un precio que será superior para la energía consumida y otro precio inferior para la energía inyectada. Esta política siempre beneficia a la empresa suministradora. En caso de que la diferencia fuera cero el importe de la factura sería de cero euros, pero para conseguir esto hay que inyectar mucho más a red que lo que se consume de esta [38].

Finalmente las tarifas FIT (Feed-In Tariff), son una herramienta que ayuda a crecer las energías renovables, gracias a poner una tarifa especial si inyectas energía a la red proveniente de una fuente renovable [39].

3.4.2 Autoconsumo en España

En España el autoconsumo está en pleno auge debido al derrocamiento del antiguo Real Decreto 900/2015, 9 de octubre, más conocido como el “impuesto al sol” y entrando en vigor el nuevo Real Decreto 244/2019, 5 de abril, donde vienen descritas las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo dentro del territorio del estado español [40].

El Real Decreto establece un marco para la gestión de la energía procedente del autoconsumo, estableciendo una clasificación [41].

- Suministro sin excedentes, donde se instalara un mecanismo para evitar el vertido de la energía sobrante a la red eléctrica.
- Suministro con excedentes, las instalaciones de producción deberán suministrar la energía para el autoconsumo y además verter a la red eléctrica el excedente de energía. Dentro de este tipo de suministro existe otra clasificación:

- Excedentes con compensación, donde la compañía eléctrica y el productor, acuerdan una compensación de excedentes, cumpliendo antes con unos requisitos previos, como que la energía ha de producirse mediante fuentes renovables, la instalación no puede superar los 100kW de potencia total, y el productor y la compañía eléctrica han de firmar un contrato de compensación.

Una vez finalizado el periodo de facturación se realiza una compensación entre la energía vertida a red y la energía comprada a red, valorada a precio medio horario del mercado, y donde el importe máximo de compensación será el importe de la energía comprada a red, es decir el resultado de la compensación no podrá ser negativo, y se deberá pagar los pagos por peajes de acceso. [41]

- Excedentes no acogidos a compensación, donde el productor no cumple algunos de los requisitos nombrados anteriormente o voluntariamente no opte a acogerse a la modalidad. La energía excedentaria será vendida, aplicando el IVPEE (Impuesto sobre el Valor de la Producción de Energía Eléctrica) del 7% [41].

3.4.3 Análisis Económico

3.4.3.1 Cálculos de la gestión de la energía activa y potencia contratada

Para calcular de una manera aproximada el coste total del consumo de energía eléctrica que el municipio llevara a lo largo del todo el año, es necesario realizar un flujo de caja salidas y entradas netas según costes e ingreso o ahorros que nuestra instalación conlleve.

Para ello es necesario conocer los consumos de energía del municipio, la tarifa eléctrica, el término de potencia y los beneficios otorgados por la venta del excedente vertido a red.

El coste total de la electricidad se calcula sumando la energía consumida por el municipio (TFE), y los términos de potencia de cada usuario (TFP).

$$TFE (\text{€}) = \text{Tarifa eléctrica (€/kWh)} * \text{Energía Consumida (kWh)} * I_e$$

Donde I_e representa el incremento anual del coste de la electricidad, que es del 1%

$$TFP (\text{€}) = \text{Término de potencia (€/kW-año)} * \text{Potencia Contratada (kW)}$$

Nuestro municipio está acogido a la tarifa 2.0DHS

TARIFAS 2.0DHS			
Concepto	Punta	Llano	Supervalle
Potencia (€/kW-año)		42,043426	
Energía (€/kWh)	0,152897	0,090644	0,075332

Figura 33. Tarifa 2.0DHS [42].

A este coste de la energía habría que añadirle el IE, impuesto a la electricidad (5.1%), que se aplica al precio de la energía, el IVA, Impuesto del Valor Añadido (21%) y el alquiler del contador [43].

Una vez conocida los consumos, la tarifa y el término de potencia, se debe calcular el beneficio que otorga el vertido de la energía sobrante a red. Como nuestra instalación supera los 100 kW de potencia nominal, debemos acogernos al Suministro con Excedentes no acogidos a compensación, donde el precio del MWh vertido a red lo fija el mercado para cada hora del año [44] y hay que aplicarle un impuesto IPVEE, Impuesto sobre el Valor de la Producción de Energía Eléctrica (7%).

$$TVR(\text{€}) = \text{Precio Venta (€/MWh)} * \text{Energía Vertida (kWh)} / IPVEE$$

Resumiendo, para el cálculo del coste total de la energía activa consumida de la red anualmente sería la suma de los siguientes valores:

$$\text{Coste Total Energía RED (€)} = (\text{TFE} - \text{TVR}) + \text{TFP} + \text{Alquiler Contador} + \text{IVA}$$

Teniendo en cuenta que si el precio total de la energía consumida por el municipio es menor que el precio obtenido por la venta de la energía vertida a la red, el balance total será de 0 €, es decir la compañía nunca va a pagar al municipio, asumiendo el municipio el coste del TFP, el alquiler del contador y el IVA.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del balance de energía final de la gestión de la energía activa y la potencia contratada entre el municipio y la red eléctrica, donde los cálculos pertinentes se podrán visualizar en el Anexo II.

Tabla 11: Coste Total del balance de energía Municipio – Red.

Mes	Energía Comprada a Red [kWh]	TFE [€]	Energía Vertida a Red [kWh]	TVR[€]	TFP[€]	Alquiler Contadores	TFE - TVR [€]	Coste Total Energía [€]
Enero	24602,26	2035,82	35333,10	2363,64	448,37	20,28	0,00	567,06
Febrero	21417,02	1748,90	26979,22	1617,33	448,37	20,28	131,57	726,27
Marzo	20603,65	1755,19	29320,51	1827,12	448,37	20,28	0,00	567,06
Abril	19166,83	1661,06	27354,54	1739,76	448,37	20,28	0,00	567,06
Mayo	18989,75	1707,20	32903,62	2042,17	448,37	20,28	0,00	567,06
Junio	20510,51	1824,52	31338,79	1864,94	448,37	20,28	0,00	567,06
Julio	21688,98	1912,67	37442,34	2282,87	448,37	20,28	0,00	567,06
Agosto	22297,46	1913,51	37570,91	2246,63	448,37	20,28	0,00	567,06
Septiembre	19642,45	1712,04	34292,67	1840,10	448,37	20,28	0,00	567,06
Octubre	23318,37	2021,69	29261,74	1745,17	448,37	20,28	276,52	901,65
Noviembre	23899,54	2009,81	23733,12	1321,08	448,37	20,28	688,73	1400,42
Diciembre	28148,58	2374,79	20383,32	1212,65	448,37	20,28	1162,14	1973,25
TOTAL	264285,41	22677,19	365913,89	22103,44	5380,38	243,36		9538,07

El coste total anual de la explotación y el consumo de la red supondría 9538.07€/año

3.4.3.2 Estimación inversión a realizar

La inversión inicial que se va a realizar para nuestra instalación va a ser un total de 763.456,85€, a continuación se va a indicar más detalladamente el coste de dicha inversión.

Inicialmente, la vamos a detallar la instalación fotovoltaica. El mayor coste de inversión de dicha instalación van a ser los seguidores solares, en nuestro caso el DEGER D80”, con un coste total de instalación y puesta en marcha de 10.736,25 €/Uds., donde el coste total por los 33 seguidores aumenta hasta 354.296,25€.

Seguidamente los módulos fotovoltaicos, el modulo seleccionado es el “JAM72s20-455/MR”, con un coste por unidad de 198.9 €/Uds., multiplicando dicha cantidad por el

número total de módulos (765), obtenemos un coste total de adquisición de los paneles de 152.158,5€.

El cuadro de mando y protección (1), el inversor AC/DC(2) y el regulador FV(4), son dispositivos que sus precios no son facilitados por las casas comerciales, ya que estos son fabricados específicamente para cada instalación y su precio varía según los requisitos de dicha instalación. Para hacer una aproximación del coste que supondría estos dispositivos a la inversión a realizar, IRENA (International Renewable Energy Agency), proporciona el coste total de instalación por kilovatio instalado.

Para España este coste 651.30€/kW [45], nuestra instalación fotovoltaica tiene una potencia instalada de 340 kW, obteniéndose un coste total 221.442€, restándole el coste de los módulos, el coste de los dispositivos mencionados anteriormente es de 69.283,5€

Los costes de instalación y puesta en marcha, donde incluyen la mano de obra, materiales, el boletín y la legalización, son de 1400€ [46].

El coste de la inversión de la planta fotovoltaica asciende a 577.138,25€ una vez ya instalada y lista para su utilización.

Por otra parte la instalación de nuestro parque eólico, donde el coste por el aerogenerador Enair E200, es de 80.000€, donde en este precio se incluye la torre, el rectificador (3), la punta y los sistemas de control. A continuación hay que añadirle el coste de instalación, mano de obra y la legalización, que añade 3.515€ [47].

El coste total de la inversión que hay que realizar para el parque eólico es de 83.515€.

Finalmente, hay que añadir el coste de las baterías y los puntos de recarga de vehículo eléctrico, las baterías han supuesto un coste de 5355.8 €/Uds. [48], multiplicando dicho valor por las 12 baterías que necesita nuestra instalación, el coste de las baterías supone 64.269,6€.

El inversor DC/AC (5) añadirá un coste a la inversión de 9144,99€ [49]

Los puntos de recarga de vehículo eléctrico añaden un coste a la instalación de 25145€ el punto de recarga rápida [50] y 1149€ el punto de recarga semi-rápida [51]. El cuadro eléctrico y las protecciones asciende a 596€ y finalmente el coste de instalación, mano de obra, las tarjetas “RFID” y la legalización, suponen 2500€.

Por lo tanto el coste final de las baterías y los puntos de recarga de vehículo eléctrico suponen en un total de 102.803,6€.

En la siguiente tabla se puede apreciar la inversión total de la instalación dividida por los grupos mencionados anteriormente.

Tabla 12: Resumen inversión a realizar.

INVERSION					
Instalación		Cantidad	Precio Unidad (€/Uds.)	Precio Total(€)	Coste Total Instalación (€)
Planta fotovoltaica	Modulo solar	765	198,9	152158,5	577138,25
	Seguidor solar	33	10736,25	354296,25	
	Regulador FV, inversor AC/DC y cuadro de mando	1	69076,90	69283,5	
	Instalación, mano de obra, boletín y	1	1400,00	1400	
Parque Eólico	Aerogenerador y rectificador	1	80000	80000	83515
	Instalación, mano de obra,	1	3515	3515	
	Baterías	12	5355,8	64269,6	102803,6
Baterías y electrolinera	Inversor DC/AC	1	9144	9144	
	Punto de recarga de 7,4 kW	1	1149	1149	
	Punto de recarga de 50 kW	1	25145	25145	
	Cuadro Eléctrico	1	596	596	
	Instalación, mano de obra, tarjetas "rfid", legalización	1	2500	2500	
COSTE TOTAL (€)					763456,85

3.4.3.3 Estimación costes de mantenimiento

Los costes anuales del mantenimiento de las instalaciones son una parte muy importante para evaluar la rentabilidad de la instalación. El municipio tendrá una serie de costes de mantenimiento, parte imprescindible para el correcto funcionamiento de nuestro sistema después de la ejecución del proyecto. Dividiremos estos costes de mantenimiento en dos grupos.

En primer lugar, los costes de mantenimiento relativos a la planta fotovoltaica y el parque eólico, donde suponen un 2% de los ingresos relativos a la generación mediante las energía renovables [52] [53].

$$\text{Coste Mantenimiento PV} + \text{Eólica} = 0.02 * TVR(€)$$

Realizando la operación se obtiene un coste de mantenimiento de la planta solar y el parque eólico de 442,07€ anuales.

En segundo lugar los costes de mantenimiento relativos a las baterías y a los puntos de recarga de vehículo eléctrico, suponiendo que son del 0.5% de la inversión inicial de esta parte del proyecto

$$\text{Coste Mantenimiento Baterías} + \text{Punto de Recarga} = 0.005 * INV_{bat} + pve$$

Aplicando la anterior expresión se obtiene un coste de mantenimiento de las baterías y los puntos de recarga de vehículo eléctrico de 514,02€ al año.

En la siguiente tabla se puede ver un resumen de los costes de mantenimiento de la instalación.

Tabla 13: Costes de Mantenimiento.

COSTES DE MANTENIMIENTO		
Mes	Parque PV - Eólico [€]	Baterías - Puntos Recarga [€]
Enero	47,27	42,83
Febrero	32,35	42,83
Marzo	36,54	42,83
Abril	34,80	42,83
Mayo	40,84	42,83
Junio	37,30	42,83
Julio	45,66	42,83
Agosto	44,93	42,83
Septiembre	36,80	42,83
Octubre	34,90	42,83
Noviembre	26,42	42,83
Diciembre	24,25	42,83
TOTAL (€)	442,07	514,02

3.4.3.4 Estimación ingresos anuales de los puntos de recarga de vehículo eléctrico

Los ingresos que va a recibir el municipio provienen de los puntos de recarga de vehículo eléctrico ya que habrá que pagar la recarga del vehículo.

El precio medio en las electrolineras para recargar el vehículo es de 0.50 €/kWh [54], así que tomaremos este valor como referencia. La capacidad de las baterías de los vehículos eléctricos oscila entre los 60 y 100 kWh [55]. Extrapolando estos datos se obtiene un precio medio de recarga de vehículo de 40€.

Finalmente se obtendrán unos ingresos anuales por parte de los puntos de recarga del vehículo eléctrico de 43.800€

3.4.3.5 Resumen de rentabilidad económica de las inversiones

Para conocer la rentabilidad económica de la instalación que se desea realizar en el municipio, se ha calculado el rendimiento técnico y económico anual, con estos datos se

ha extrapolado a 25 años, se ha seleccionado este periodo de tiempo por ser la vida útil media de una planta fotovoltaica.

Para ello inicialmente se ha calculado el VAN (Valor Actual Neto):

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^n \frac{Q}{(1+r)^n}$$

Seguidamente se ha calculado el TIR (Tasa Interna de Retorno):

$$TIR = \sum_{n=0}^n \frac{Q}{(1+r)^n}$$

Finalmente se ha calculado el Payback (Plazo de recuperación):

$$PAYBACK = \frac{I}{Q}$$

Donde:

- I: Es la inversión inicial, en euros €.
- n: Numero de periodos considerados, en años.
- Q: Flujo de cajas anuales, en euros €.
- r: Tasa de actualización, en %.

Además se calcula el LCOE (Levelized Cost of Energy), el valor del coste total actual de construir y operar una instalación generadora de energía a lo largo de toda su vida útil, parámetro fundamental para evaluar la rentabilidad de una instalación de producción de energía eléctrica.

$$LCOE = \frac{I + \sum_{n=1}^n \frac{Mt}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^n \frac{Et}{(1+r)^n}}$$

Donde:

- I: Es la inversión inicial, en euros €.
- n: Numero de periodos considerados, en años.
- Mt: Coste de Mantenimiento anual, en euros €
- Et: Energía anual generada, en kWh
- r: Tasa de actualización, en %.

A continuación se muestran los resultados para el escenario, en el cual la tasa de actualización se sitúa en un 1,4%:

Tabla 14: Resultados Rentabilidad.

Inversión (€)	763456,85
Numero de periodos (Años)	25
Flujo de caja (€)	33305,84
Tasa de actualización (%)	1,4
VAN (€)	-64.987,49 €
TIR (%)	1%
PAYBACK (Años)	23
LCOE (€/MWh)	48,980

Para que una inversión sea rentable el VAN y el TIR han de ser positivos, en nuestro caso a 25 años no obtenemos un resultado óptimo para la inversión, y por está lejos de los resultados esperados, ya que obtenemos un VAN negativo y un valor de PAYBACK de 23 años siendo la vida útil de la instalación de 25 años.

Según la IRENA en 2019, el LCOE para instalaciones fotovoltaicas hibridas debe tener un valor comprendido entre 147€/MWh y 41€/MWh [45]. Por lo tanto estamos dentro del rango de valores que la IRENA propone.

3.4.4 Posibles diferentes escenarios

Debido a los malos resultados en cuanto a la rentabilidad de la instalación vamos a proponer diferentes escenarios para evaluar posibles medidas para mejorar la rentabilidad.

Inicialmente se va a estudiar un escenario sin el parque eólico debido a la baja producción de energía y el elevado coste que supone a la inversión. La comparación de los resultados energéticos obtenidos al eliminar el parque eólico son los que aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 15: Energía generada con y sin parque eólico en el municipio.

Mes	Energía Total Generada - Sin parque eólico [kWh]	Energía Total Generada - Con parque eólico [kWh]
Enero	53623,26	55002,58
Febrero	45004,73	45787,90
Marzo	49922,93	52845,86
Abril	49165,30	50687,33
Mayo	57690,49	58724,78
Junio	59366,78	60530,40
Julio	64482,13	65316,98
Agosto	65884,17	66801,90
Septiembre	56536,09	57328,24
Octubre	48609,21	49702,28
Noviembre	40789,58	42731,35
Diciembre	37060,80	38417,63

Como se observa en la anterior tabla la diferencia entre la generación de parque eólico es ínfima en comparación con la que nos proporciona la instalación fotovoltaica y suma un gran coste a la inversión, ya que la inversión se verá reducida los resultados de la rentabilidad mejoran como se puede apreciar en la siguiente tabla, pero siguen estando muy lejos del resultados esperados.

Tabla 16: Resultados Rentabilidad sin parque eólico.

Inversión (€)	679735,25
Numero de periodos (Años)	25
Flujo de caja (€)	32852,82
Tasa de actualización (%)	1,4
VAN (€)	9.233,72 €
TIR (%)	2%
PAYBACK (Años)	21
LCOE (€/MWh)	44,508

Por otra parte se va a presentar otro escenario en el cual además de eliminar el parque eólico, se va a reducir el número de placas solares, para que así la generación y el consumo sea aproximado, ya que no se puede obtener ingresos de la compañía y por lo tanto ese excedente que se vierte a red no supone ningún beneficio para el municipio, es decir se regala energía. Se reduce el número de placas a 625, y en consecuencia el número de seguidores solares se verá reducido a 27 unidades. En la siguiente tabla se muestran los resultados energéticos obtenidos.

Tabla 17: Energía generada dependiendo del número de placas solares.

Mes	Energía Total Generada - 765 Placas solares [kWh]	Energía Total Generada - 625 Placas solares [kWh]
Enero	55002,58	44156,17
Febrero	45787,90	37059,23
Marzo	52845,86	41109,14
Abril	50687,33	40485,26
Mayo	58724,78	47505,35
Junio	60530,40	48885,69
Julio	65316,98	53097,94
Agosto	66801,90	54252,45
Septiembre	57328,24	46554,75
Octubre	49702,28	40027,35
Noviembre	42731,35	33588,26
Diciembre	38417,63	30517,79

En este escenario la inversión inicial bajaría respecto al escenario anterior, pero como se muestran en la siguiente tabla, se obtendrían menos beneficios de la venta de la energía y por lo tanto la rentabilidad de la instalación empeoraría respecto al escenario anterior. Debido a esto el número de placas solares será el inicial del proyecto, 765 placas.

Tabla 18: Resultados rentabilidad reduciendo número de placas.

Inversión (€)	608153
Numero de periodos (Años)	25
Flujo de caja (€)	28871,24
Tasa de actualización (%)	1,4
VAN (€)	-2.683,37 €
TIR (%)	1%
PAYBACK (Años)	21
LCOE (€/MWh)	45,158

A continuación se va a presentar otro posible escenario donde además de eliminar el parque eólico se van a eliminar los dispositivos de seguimiento solar, es decir las placas estarán colocadas sobre soportes metálicos fijos con una inclinación óptima (β_{opt}) de 38°, ya que es la inclinación óptima para una instalación situada en Huesca [56]. Se obtienen los siguientes resultados energéticos:

Tabla 19: Energía generada con y sin seguidor solar.

Mes	Energía Total Generada - Con dispositivo de seguimiento [kWh]	Energía Total Generada - Sin dispositivo de seguimiento [kWh]
Enero	55002,58	31327,60
Febrero	45787,90	33572,04
Marzo	52845,86	46330,98
Abril	50687,33	49678,31
Mayo	58724,78	58233,60
Junio	60530,40	60899,59
Julio	65316,98	66330,07
Agosto	66801,90	56869,29
Septiembre	57328,24	57369,70
Octubre	49702,28	46550,06
Noviembre	42731,35	38183,83
Diciembre	38417,63	33183,83

Sustituyendo los seguidores solares por soportes metálicos donde se instalaran las placas, se conseguirá una reducción considerable en la inversión total de la instalación. Debido a que el coste de estos soportes es mucho menos que el de los seguidores solares. El soporte seleccionado es Panel FV925 [57], donde se pueden instalar 34 placas por soporte.

A continuación se muestran los resultados de la rentabilidad de la instalación, donde se aprecia una mejor rentabilidad frente a los otros posibles escenarios, ya que el VAN y el TIR aumentan considerablemente y el PAYBACK se ve reducido a 14 años, un tiempo mucho menos respecto a los otros escenarios donde superaba los 20 años. Y el LCOE ha bajado a 27.614€/MWh, lo cual nos indica que la rentabilidad de este escenario es buena y se podría llevar a cabo.

Tabla 20: Resultados rentabilidad sin seguidores solares.

Inversión (€)	376237,25
Numero de periodos (Años)	25
Flujo de caja (€)	26267,77
Tasa de actualización (%)	1,4
VAN (€)	174.634,03 €
TIR (%)	5%
PAYBACK (Años)	14
LCOE (€/MWh)	27,605

Por último se va a plantear otro posible escenario, que a partir del escenario anterior en el cual se sustitúan los seguidores solares por soportes metálicos, el real decreto cambie y el municipio pueda obtener ingresos de la compañía eléctrica, por verter la energía sobrante, y el impuesto IVPEE desaparezca, dejando claro que es un escenario teórico.

Como se puede apreciar en las siguientes tablas el coste total de la energía consumida por el municipio se vería reducido en un 38% aproximadamente.

Tabla 21: Coste total balance energético sin compensación de la compañía.

Mes	Energía Comprada a Red [kWh]	TFE [€]	Energía Vertida a Red [kWh]	TVR[€]	TFP[€]	Alquiler Contadores [€]	TFE - TVR [€]	Coste Total Energía [€]
Enero	26613,26	2207,87	12855,49	869,71	448,37	20,28	1338,16	2186,23
Febrero	22450,16	1855,04	14974,00	893,43	448,37	20,28	961,61	1730,60
Marzo	22304,42	1886,30	23335,36	1459,36	448,37	20,28	426,95	1083,67
Abril	19452,12	1681,79	29164,74	1856,37	448,37	20,28	0,00	567,06
Mayo	18682,40	1676,25	41931,92	2597,87	448,37	20,28	0,00	567,06
Junio	20083,48	1763,84	42533,04	2525,40	448,37	20,28	0,00	567,06
Julio	21190,54	1857,46	49322,07	3045,53	448,37	20,28	0,00	567,06
Agosto	22093,71	1898,10	44829,43	2679,70	448,37	20,28	0,00	567,06
Septiembre	19889,39	1731,49	32541,47	1745,74	448,37	20,28	0,00	567,06
Octubre	24614,09	2145,07	19306,05	1151,79	448,37	20,28	993,29	1768,94
Noviembre	26296,85	2237,27	8706,85	483,53	448,37	20,28	1753,74	2689,09
Diciembre	31764,86	2783,86	3972,95	237,89	448,37	20,28	2545,98	3647,69
TOTAL	275435,25	23724,34	323473,38	19546,31	5380,38	243,36		16508,59

Tabla 22: Coste total balance energético con compensación de la compañía.

Mes	Energía Comprada a Red [kWh]	TFE [€]	Energía Vertida a Red [kWh]	TVR[€]	TFP[€]	Alquiler Contadores [€]	TFE - TVR [€]	Coste Total Energía [€]
Enero	26613,26	2207,87	12855,49	930,59	448,37	20,28	1277,28	2112,57
Febrero	22450,16	1855,04	14974,00	955,97	448,37	20,28	899,07	1654,93
Marzo	22304,42	1886,30	23335,36	1561,51	448,37	20,28	324,79	960,06
Abril	19452,12	1681,79	29164,74	1986,31	448,37	20,28	-304,52	198,59
Mayo	18682,40	1676,25	41931,92	2779,72	448,37	20,28	-1103,47	-768,14
Junio	20083,48	1763,84	42533,04	2702,17	448,37	20,28	-938,34	-568,33
Julio	21190,54	1857,46	49322,07	3258,72	448,37	20,28	-1401,26	-1128,46
Agosto	22093,71	1898,10	44829,43	2867,28	448,37	20,28	-969,18	-605,65
Septiembre	19889,39	1731,49	32541,47	1867,94	448,37	20,28	-136,46	401,95
Octubre	24614,09	2145,07	19306,05	1232,41	448,37	20,28	912,66	1671,38
Noviembre	26296,85	2237,27	8706,85	517,38	448,37	20,28	1719,90	2648,13
Diciembre	31764,86	2783,86	3972,95	254,54	448,37	20,28	2529,33	3627,55
TOTAL	275435,25	23724,34	323473,38	20914,55	5380,38	243,36		10204,57

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la rentabilidad del nuevo escenario, donde se aprecia una mejor rentabilidad frente al escenario anterior. Hay una mejora cuantiosa del VAN y del TIR, el PAYBACK se reduce en 2 años y el LCOE se mantiene aproximadamente constante.

Tabla 23: Resultados rentabilidad con compensación de la compañía.

Inversión (€)	376237,25
Numero de periodos (Años)	25
Flujo de caja (€)	32663,12
Tasa de actualización (%)	1,4
VAN (€)	308.753,34 €
TIR (%)	7%
PAYBACK (Años)	12
LCOE (€/MWh)	27,661

Finalmente se van a comparar los 5 escenarios en las siguientes figuras:

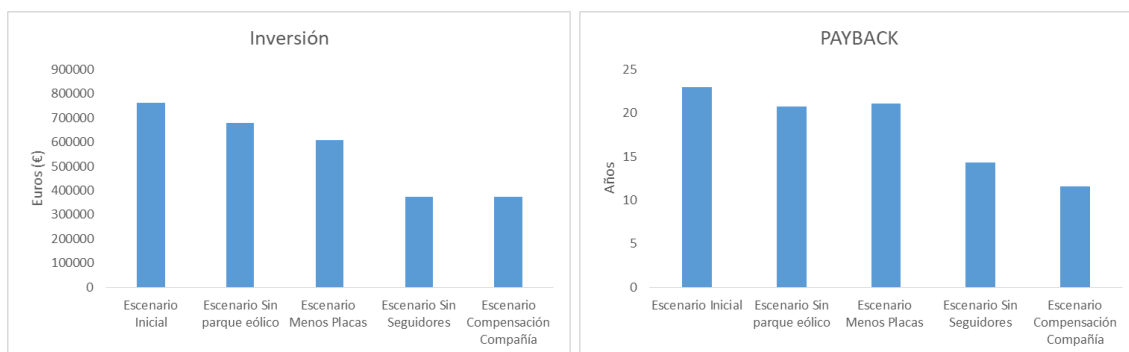


Figura 34. Inversión Inicial y PAYBACK diferentes escenarios.

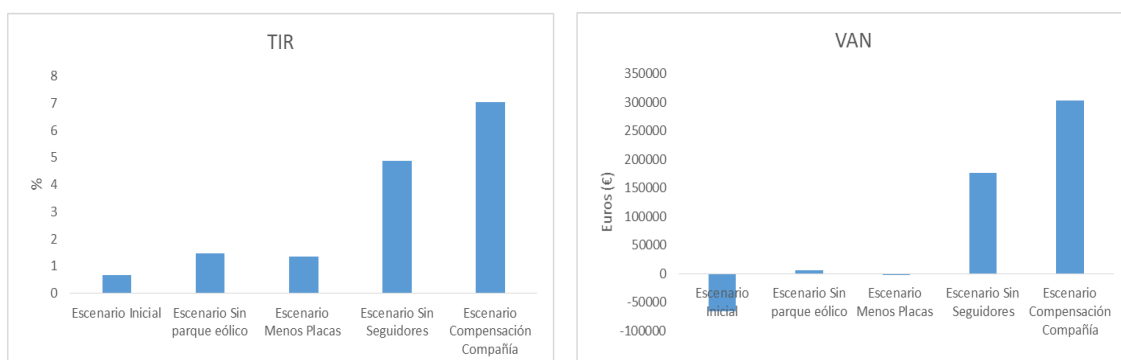


Figura 35. TIR Y VAN diferentes escenarios.

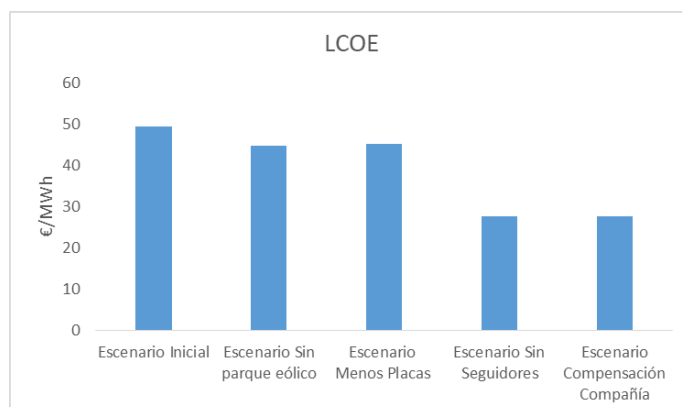


Figura 36. LCOE diferentes escenarios.

Gracias a las figuras anteriores podemos afirmar que la mejor opción para nuestra instalación sería una planta fotovoltaica de 765 módulos solares montados directamente sobre soportes metálicos, reduciendo considerablemente la inversión en comparación si se montaran sobre seguidores solares.

Además también podemos afirmar que el parque eólico es innecesario ya que apenas genera energía debido al poco recurso eólico que hay en la zona en comparación con el recurso solar, y añadiendo un gran coste a la inversión total del proyecto.

Finalmente podemos también destacar que si pudiéramos obtener compensación por parte de las compañías eléctricas la rentabilidad del proyecto aumentaría considerablemente.

4 Conclusión

En este trabajo de fin de grado se ha realizado un estudio de la viabilidad técnica y económica de la implantación de una planta fotovoltaica y un parque eólico para autoconsumo de un municipio rural y la instalación de puntos de recargar para vehículo eléctrico.

Para ello se ha realizado un estudio de la demanda de energía por parte del municipio según los consumos de los vecinos del mismo y se ha decidido crear una instalación para autoconsumo debido de la transición ecológica y reducir las emisiones a nivel global. Teniendo en cuenta los posibles puntos de recarga de vehículo eléctrico, gracias a un estudio de la movilidad de las carreteras que atraviesan el municipio, además del aumento de vehículos eléctricos en el parque de vehículos del país en los próximos años y afirmando que no existe ningún punto de recarga cercano al municipio.

El proyecto incluye el dimensionamiento de una planta fotovoltaica y un parque eólico, además de la selección de los dispositivos de recarga de vehículo eléctrico, sistemas de baterías, convertidores, rectificadores e inversores para el correcto funcionamiento de la instalación.

Seguidamente se ha realizado un estudio energético y económico para evaluar la rentabilidad del proyecto. Donde el primer escenario no era rentable y posteriormente se han planteado diferentes escenarios para observar la rentabilidad de los mismos.

El escenario donde se han conseguidos unos resultados óptimos es una instalación fotovoltaica sin seguidores solares y eliminado el parque eólico debido al coste que suponía a la inversión.

Afirmando que sería interesante disponer de una instalación para autoconsumo en el municipio, debido a la reducción del precio que se debería de abonar a la compañía eléctrica por el consumo de la energía del municipio, donde en 14 años se vería recuperada la inversión y quedando 11 años donde se obtendrían beneficios para el municipio.

Finalmente se puede concluir que si se ejecutara las instalaciones del escenario mencionado anteriormente para el municipio de Javierre de Bielsa, se obtendrían

resultados financieramente viables y un importe reconocimiento al mundo rural, por su colaboración con el medio ambiente y la transición ecológica, hacia un mundo mejor.

5 Bibliografía

[1] Acuerdo de París. *CMNUCC*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>

[2] Pacto Verde Europeo. *Comisión Europea - European Commission*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es

[3] Greenhouse gas emissions by aggregated sector. *European Environment Agency*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/ghg-emissions-by-aggregated-sector-5#tab-dashboard-02>

[4] Estrategia a largo plazo para 2050. *Acción por el Clima - European Commission*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es

[5] El Gobierno aprueba la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, que marca la senda para alcanzar la neutralidad climática a 2050. *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-la-estrategia-de-descarbonización-a-largo-plazo-que-marca-la-senda-para-alcanzar-la-neutralidad-climática-a-2050/tcm:30-516141>

[6] Electric vehicles. *Mobility and Transport - European Commission*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/vehicles/road/electric_en

[7] BP-Statistical Review of World Energy. *Bp*. [Consultado el 16 de Junio de 2021]. Disponible en: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-electricity.pdf>

[8] REData - Estructura generación. *Red Eléctrica de España* [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion>

- [9] Emissions by sector. *Our World in Data*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- [10] Las emisiones de gases de efecto invernadero cayeron un 6,2% en España el año pasado. *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-cayeron-un-62-en-españa-el-año-pasado-/tcm:30-510416>
- [11] Programa de Incentivos a la Movilidad Eléctrica y Sostenible. *MOVES - Programa de Incentivos a la Movilidad Eléctrica y Sostenible*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.ayudasenergiagobiernoaragonidae.com/>
- [12] Alumbrado exterior. *Idae*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/servicios/alumbrado-exterior>
- [13] Potencia contratada por vecinos del municipio. *Propia*.
- [14] La importancia de las energías renovables. *ACCIONA / Business as unusual*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>
- [15] JRC photovoltaic geographical information system (PVGIS). *European Commission*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html
- [16] Z. R. Dogaheh and V. Puig, "Tilt Angle Optimization of Photovoltaic Panels," *2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 2019, pp. 1847-1852, doi: 10.1109/CoDIT.2019.8820549. [Consultado el 16 de Junio de 2021] Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8820549>
- [17] Deger D80. *DEGERiberica*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://degeriberica.com/seguidores-solares-de-2-ejes/deger-d80/>
- [18] 166 JAM72S20 440-465 MR. *Autosolar*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://autosolar.es/pdf/JaSolar-M72S20-MR440-465W.pdf>
- [19] Diferencias entre monocristalino y policristalino. *Autosolar*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>

- [20] DC/DC converters. *APS*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.apsag.com/en/converters/dcdc-converters/>
- [21] JRC photovoltaic geographical information system (PVGIS). *European Commission*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html
- [22] Caracterización del viento. *Biblioteca de Ingeniería | Universidad de Sevilla*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5116/fichero/Cap%C3%ADtulo+2.pdf>
- [23] Aerogenerador E70PRO. *Aerogeneradores Enair, Minieólica eficiente y evolucionada*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro>
- [24] Aerogenerador E200. *Aerogeneradores Enair, Minieólica eficiente y evolucionada*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e200>
- [25] Inversor de String Inteligente SUN2000-185KTL-H1. *Huawei FusionSolar Smart PV Solution*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://solar.huawei.com/es/Products/FusionSolar>
- [26] Inversor de String Inteligente SUN2000-20KTL-M0. *Huawei FusionSolar Smart PV Solution*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://solar.huawei.com/es/Products/FusionSolar>
- [27] Carreteras en Aragón. *Gobierno de Aragón*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.aragon.es/-/carreteras>
- [28] Tablas estadísticas. *Dirección General de Tráfico*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/>
- [29] Observatorio del Vehículo Eléctrico y Movilidad Sostenible. *Observatorio del Vehículo Eléctrico y Movilidad Sostenible – DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS – IIT*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://evobservatory.iit.comillas.edu/>

[30] Mapa con todos los puntos de recarga para vehículos eléctricos. *Electromaps - Todo sobre puntos de recarga y vehículo eléctrico*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.electromaps.com/mapa?qsearch=bielsa>

[31] Modos de recarga de vehículos eléctricos. *Puntos de Recarga para Vehículos Eléctricos - The Wallbox Store*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <http://wallbox.eu/es/info/modos-de-recarga-de-vehiculos-electricos.html>

[32] Tipos de recarga del coche eléctrico. *Creara*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.creara.es/post/tipos-recarga-coche-electrico>

[33] Soluciones de carga para vehículos eléctricos. *Saltoki / Fontanería, material eléctrico y material construcción*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.saltoki.com/vehiculos-electricos/>

[34] Baterías de litio para energía solar, comparativa de baterías. *Tu blog de Autoconsumo fotovoltaico y energía renovable*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.cambioenergetico.com/blog/baterias-de-litio-en-bajo-voltaje-y-alto-voltaje/>

[35] Almacenamiento Modular de Energía eBick 180 Pro. *Cegasa*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.cegasa.com/ebick-180-pro>

[36] Ingecon sun 100tl. *Ingeteam*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.ingetteam.com/es-es/sectores/energia-fotovoltaica/p15_24_624_450/ingecon-sun-100tl.aspx

[37] Preguntas frecuentes sobre autoconsumo. *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico – Energía*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://energia.gob.es/electricidad/autoconsumo-electrico/Paginas/preguntas-frecuentes-autoconsumo.aspx>

[38] Rodolfo Dufo-López, José L. Bernal-Agustín. “A comparative assessment of net metering and net billing policies. Study cases for Spain”. *Energy Volume 84, 2015, Pages 684-694, ISSN 0360-5442*, [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215003254>

[39] Feed-in Tariff. *Central Energía*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.centralenergia.cl/2010/07/13/feed-in-tariff/>

[40] Sumario del día 06/04/2019. *BOE.es - Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2019/04/06/index.php?e=9566>

[41] Guía profesional de tramitación del autoconsumo. *Idea*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-profesional-de-tramitacion-del-autoconsumo>

[42] Tarifa 2.0DHS. *Goiener*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.goiener.com/tarifas/2-0dhs>

[43] Cómo funciona un contador digital eléctrico y cómo aportar su lectura. *comparadorluz.com*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://comparadorluz.com/faq/contador-luz>

[44] Precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada. *ESIOS electricidad · datos · transparencia*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=1&start_date=14-05-2019T00:00&end_date=14-05-2019T23:00&compare_start_date=13-05-2019T00:00&groupby=hour&compare_indicators=1013,1014,1015

[45] Renewable Power Generation Costs in 2019. *IRENA – International Renewable Energy*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

[46] Cómo instalar placas solares y cuánto cuesta. *Selectra*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion>

[47] Instalar Aerogeneradores: Precio y Presupuestos. *habitissimo.es*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.habitissimo.es/presupuestos/instalar-aerogeneradores>

[48] Batería de Litio CEGASA. *climasolar.es*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://climasolar.es/baterias-de-litio/bateria-de-litio-cegasa-864-kwh-48v-ebick-180-pro-48180f-paralelo/>

[49] Inversor Red 100000W Trifásico INGECON Sun 3PLAY 100TL. *Autosolar / La Tienda de la Energía Solar*. [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible

en: <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-red-100000w-trifasico-ingecon-sun-3play-100tl>

[50] Troniq 50 | EVBox. *Tienda icancharge!* [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.icancharge.com/tienda/Troniq-50-EVBox-p221203675>

[51] EVBOX Charging station BusinessLine - 7.4kW or 22kW - Autostart - one or three phases. *Bornes & stations de recharge voiture électrique - carplug.* [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.carplug.com/en/evbox-charging-station-businessline-74kw-or-22kw-autostart-one-or-three-phases>

[52] Mantenimiento Fotovoltaica. *Autoconsumo solar, bombeo solar, energía eólica / Alromar.* [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.alromar-energia.es/blog/tag/mantenimiento-fotovoltaica/>

[53] Costes de operación y de mantenimiento en aerogeneradores. *Drøm større / Drømstørre.dk.* [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/econ/oandm.htm>

[54] MARTÍN, Jesús. Cuánto cuesta cargar un coche eléctrico con las tarifas de la luz que hay en España en 2021. *Motorpasion - Coches y actualidad del motor. Vehículos, marcas y modelos.* 7 de junio de 2021 [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico-tarifas-luz-que-hay-espana-2020>

[55] Capacidad batería de un coche eléctrico. *Motor.es.* [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.motor.es/noticias/cuanto-pesa-la-bateria-de-un-coche-electrico-202068719.html>

[56] Orientar e inclinar instalación fotovoltaica. *tarifasgasluz.com.* [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/instalacion/inclinacion-y-orientacion>

[57] Soporte panel solar FV925. *Autosolar / La Tienda de la Energía Solar.* [Consultado el 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://autosolar.es/estructuras-suelo/estructura-suelo-34-panel-fv925-cred>